



**Universidad Nacional Mayor de San Marcos**

**Universidad del Perú. Decana de América**

**Facultad de Ciencias Matemáticas**

**Escuela Académico Profesional de Investigación Operativa**

**Simulación de un sistema de colas en la atención  
primaria de pacientes del "Hospital de Emergencias  
Generales"**

**TESINA**

**Para optar el Título Profesional de Licenciada en Investigación  
Operativa**

**AUTOR**

**Rocío GÓMEZ TORRES**

**ASESOR**

**Juan Julio TOLEDO RODRÍGUEZ**

**Lima, Perú**

**2009**



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

## Referencia bibliográfica

---

Gómez, R. (2009). *Simulación de un sistema de colas en la atención primaria de pacientes del "Hospital de Emergencias Generales"*. Tesina para optar el título profesional de Licenciada en Investigación Operativa. Escuela Académico Profesional de Investigación Operativa, Facultad de Ciencias Matemáticas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

---

## **DEDICATORIA**

*A Miguel, Richard, y Milagritos por su  
gran apoyo incondicional.  
A Dios, por su infinito amor y bendición.  
A mis guías, institución y todos aquellos  
que hicieron posible la elaboración de  
este trabajo.*

## **RESUMEN**

SIMULACION DE UN SISTEMA DE COLAS EN LA ATENCION PRIMARIA  
DE PACIENTES DEL "HOSPITAL DE EMERGENCIAS GENERALES"

BR. ROCIO GOMEZ TORRES

DICIEMBRE - 2009

Asesor : Lic. Juan Julio Toledo Rodríguez

Título obtenido : Licenciada en Investigación Operativa

---

En el presente trabajo se plantea el problema del "Hospital de Emergencias Generales", cuya característica es proporcionar atención médico-quirúrgica a la comunidad en situación de emergencia, a fin de restablecer su salud. El sistema de atención consta de 11 Especialistas de Emergencia primarios (Urgenciólogos) que, luego de estabilizar a los pacientes que llegan de Emergencia al hospital, los derivan a las áreas correspondientes durante las 24 horas del día. Por ser un hospital especializado en emergencias, se ha dado una progresiva saturación, la que ocasiona tiempos de espera inaceptables desde el punto de vista de calidad del servicio.

Para solucionar este problema, se plantea un modelo de simulación, a través de la recolección de información del sistema de línea de espera, se halla la tasa de llegadas, tasa de servicio, tiempos de espera, que permitirá verificar las deficiencias en el comportamiento real del Hospital.

Al realizar la validación y pruebas del modelo, se obtienen resultados de la atención de los 11 urgenciólogos.

PALABRAS CLAVES: SISTEMA, TEORIA DE COLAS, PRIORIDADES  
SIMULACION, MODELOS, HOSPITAL

## **ABSTRACT**

SIMULATION OF A SYSTEM TAILS IN THE PRIMARY ATTENTION OF  
PATIENTS OF THE "HOSPITAL OF GENERAL EMERGENCIES"

BACHELOR: ROCIO GOMEZ TORRES

NOVEMBER - 2009

Adviser : Juan Julio Toledo Rodríguez

Obtained title: Licensed in Operations research

---

The present work is about a problem of the "Hospital of General Emergencies" whose characteristic is to provide doctor-surgical attention to the community in emergency situation, in order to restore its health. The attention system consists of 11 primary of Emergency's Specialists who after to stabilize the patients who arrive from Emergency at the hospital derive them to the corresponding areas during the 24 hours from the day. For being a hospital specialized in emergencies, has occurred a progressive saturation, the one that cause unacceptable times of delay from the point of view of quality of the service.

For this problem, a simulation system considers, through the harvesting of information of the system of pre-start line, founding the rate of arrivals, rate of service, times of delay, with which it will be possible to be verified the deficiencies in the real behavior of the Hospital.

Identifying these deficiencies, a new model looks for that as a matter of priority improves the process of pre-start line in the attention of the patients, both models are going away to simulate in software AweSim 3.0.

### KEY WORDS:

SYSTEM, THEORY OF TAILS, PRIORITIES, SIMULATION  
MODELS, HOSPITAL

## **INDICE**

Hoja de presentación y aprobación

Ficha Catalográfica

Dedicatoria

Resumen

Abstract

Introducción

### **CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

I.1. Descripción del problema

I.1.1. Deficiencias del Servicio

I.2. Justificación

I.3. Objetivos

I.3.1. Objetivo General

I.3.2. Objetivos específicos

I.4. Importancia y alcances de la investigación

I.5. Variables de Decisión

I.5.1. Variables Exógenas

I.5.2. Variables Endógenas

I.5.3. Variables de estado

I.5.4. Parametros

### **CAPITULO II. MARCO TEORICO**

II.1. TEORIA DE SISTEMAS

II.1.1. Conceptos Básicos y características

II.1.1.1. Teoría General de Sistemas

II.1.1.2. Características de la Teoría General de  
Sistemas

II.2. TEORIA DE COLAS

II.2.1. Estructura básica de los modelos de colas

II.2.2. Procesos de nacimiento y muerte

II.2.3. Modelado del proceso de servicio

II.2.4. Notación de Kendall-Lee para los Sistemas de Líneas

De Espera

## II.3. TECNICAS DE SIMULACION.

### II.3.1. Principios básicos de la Simulación

#### II.3.1.1. Introducción a la Simulación

#### II.3.1.2. Definiciones de Simulación

#### II.3.1.3. Variable Aleatoria.

##### II.3.1.3.1. Definición.

##### II.3.1.3.2. Tipos de Variables Aleatorias

##### II.3.1.3.3. Simulaciones con variables aleatorias                      continuas

#### II.3.1.4. Ventajas y desventajas de la Simulación

#### II.3.1.5. Tipos Comunes de Aplicaciones de Simulación

### II.3.2. Descripción de un proceso de Simulación Importante

### II.3.3. Simulación de Eventos Discretos

#### II.3.3.1 Distribución de probabilidad y Simulación

#### II.3.3.2. Pasos para determinar una función de Distribución de Probabilidad

#### II.3.3.3. Pruebas de bondad y ajuste

##### II.3.3.3.1. Prueba de CHI CUADRADO

##### II.3.3.3.2. Prueba KOLMOGOROV-SMIRNOV

##### II.3.3.3.3. Comparación entre las pruebas CHI CUADRADO y KOLMOGOROV-SMIRNOV

### II.4. EL SOFTWARE A EMPLEAR: AWESIM

#### II.4.1. Modelamiento de Simulación empleando Slam

#### II.4.2. Variables de visual slam

#### II.4.3. Sentencias de control en awesim

##### II.4.4. Conceptos en AweSim



- II.4.4.1. Nodo CREATE
- II.4.4.2. Nodo QUEUE
- II.4.4.3. ACTIVITY
- II.4.4.4. Nodo COLCT
- II.4.4.5. Nodo ASSIGN
- II.4.4.6. RESOURCE
- II.4.4.7. Nodo AWAIT
- II.4.4.8. Nodo FREE

### **CAPITULO III. RECOLECCION, PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS**

III.1. Recopilación de datos sobre la llegada de los Pacientes al Hospital

III.2. Recopilación de datos sobre los tiempos de Servicio de los pacientes

### **IV. IMPLEMENTACION DEL MODELO**

IV.1. Modelo y Reportes AweSim

IV.2. Comparación de Resultados

IV.3. Análisis de Resultados

### **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

V.1. Conclusiones

V.2. Recomendaciones

### **BIBLIOGRAFIA**

## INTRODUCCION

Los fenómenos de espera son muy habituales en la vida diaria. Es muy común tener que esperar en una cola para ser atendidos en todo tipo de actividades, tales como: comprar en un supermercado, cola para abordar un bus, sacar una entrada de cine, operar en una entidad bancaria, etc. La formación de la cola se produce porque en un momento determinado la demanda de un servicio es superior a la oferta de medios disponibles en el sistema.

Sin embargo, la formación de colas de espera no se produce sólo en la prestación de servicios "comerciales", sino que éstas se constituyen también en la prestación de servicios de tipo social como los servicios médicos, y en particular los de emergencia.

En el contexto de los sistemas de colas es importante definir los sistemas de colas con prioridades, que indican de qué forma son atendidos los clientes (pacientes, en nuestro caso) una vez que ingresan a la cola. La disciplina más habitual suele ser la de primero en llegar, primero en ser servido, FIFO (utilizada en supermercados, algunas entidades bancarias, estaciones de servicio, etc.). Sin embargo la disciplina de servicio más adecuada en el caso de un hospital es la de prioridades de acuerdo a la gravedad del paciente. En los hospitales es común clasificar a los pacientes en 5 niveles de urgencia: El nivel I se reserva para los pacientes que requieren resucitación, con riesgo vital inmediato. El nivel II se adjudica a las situaciones de emergencia o muy urgentes, de riesgo vital inmediato y cuya intervención depende radicalmente del tiempo; generalmente son situaciones de

alto riesgo, con inestabilidad fisiológica o dolor intenso. El nivel III lo constituyen las situaciones urgentes, de riesgo vital potencial, que generalmente requieren múltiples exploraciones diagnósticas y/o terapéuticas en pacientes con estabilidad fisiológica. El nivel IV son situaciones menos urgentes, potencialmente serias y de complejidad-urgencia significativa, constituyéndose en estándares de la atención en los servicios de urgencias. Generalmente los pacientes con un nivel IV de urgencia necesitan una exploración diagnóstica y/o terapéutica. Por último, el nivel V son las situaciones menos urgentes o no urgentes. Son en general problemas clínico-administrativos, que no requieren ninguna exploración diagnóstica y/o terapéutica y que pueden permitir una espera de hasta 4 horas para ser atendidas sin riesgo para el paciente. En este caso, las prioridades a las cuales haremos referencia son tres, las cuales se definirán más adelante.

De otro lado, la simulación permite crear modelos con diferentes factores que influyen en los requerimientos de atención, siendo una de sus principales ventajas la posibilidad de identificar las condiciones del sistema, planteando diferentes escenarios y observar el comportamiento del sistema en cada caso.

En consecuencia, la aplicación de ambas técnicas no es excluyente, se usará la Teoría de Colas como método de identificación de problemas y la Simulación para validar resultados.

En este sistema hospitalario tenemos una oferta de instalaciones determinada que no responde a la creciente demanda de prestación de salud de parte de la población,

por tanto se produce la saturación del servicio, especialmente en horas punta de atención.

Ante esta situación, nos planteamos el presente estudio a fin de determinar si aumentando el número de especialistas en emergencia disminuiría el tiempo de espera de pacientes para su atención, así como el tiempo total de permanencia en el Hospital de Emergencias. Asimismo se creará un software de simulación que permita reproducir el comportamiento de un sistema de líneas de espera con prioridades.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **I.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.**

El "Hospital de Emergencias Generales" es un establecimiento de salud que proporciona atención médico-quirúrgica a la comunidad en situación de emergencia, en el ámbito intra y extra hospitalario, a fin de restablecer su salud. A continuación describiremos las características y alcances del sistema vigente que obedece el Hospital en el Servicio de atención primaria.

- Brinda atención exclusiva de emergencia las 24 horas.
- El actual sistema está constituido por 11 Especialistas de Emergencia (urgenciólogos), los cuales estabilizan a todo paciente que llegue al sistema, ya sea un trauma (accidentado, baleado o herido), o por padecimientos como complicaciones agudas de diabetes, crisis hipertensivas, entre otras.
- Los pacientes que llegan al hospital se dividen en tres categorías, según prioridad de urgencia establecida en el área de triaje:
  1. Vital
  2. Muy grave
  3. Grave

- Los pacientes son atendidos aleatoriamente por los especialistas de emergencias, de acuerdo a su disponibilidad y horario y a la prioridad del caso.
- Luego de ser atendidos por los especialistas en emergencias, los pacientes son derivados a las cualquiera de las siguientes especialidades:
  1. Cuidados críticos
  2. Cirugía
  3. Medicina
  4. Traumatología
- Los pacientes que superan el tiempo de espera permitido, son derivados al Hospital más cercano.
- Culminado este servicio en cada especialidad los pacientes se retiran.

#### **I.1.1.1. Deficiencias del Servicio.**

La demanda de atención en el Hospital de Emergencias Generales es muy variable, ya que depende de muchos factores, por tratarse de urgencias, en ciertas horas se observa que se generan colas de los pacientes y más aun con el retraso que conlleva la línea de espera puede verse seriamente dañada la salud del paciente, lo cual hace necesario un estudio del modelo para hacer una mejora en el servicio.

## **I.2. JUSTIFICACIÓN.**

Una particularidad muy importante al definir los sistemas de colas hace referencia a las "prioridades", que indican de qué forma son atendidos los clientes (pacientes, en nuestro caso) una vez que ingresan en la cola. La disciplina más habitual de prioridades suele ser la de primero en llegar, primero en ser servido, FIFO (utilizada en supermercados, algunas entidades bancarias, estaciones de servicio, etc.). Sin embargo esta disciplina no es la más lógica cuando existe otra magnitud más objetiva como es la gravedad del paciente y que es la que debe influir a la hora de decidir en qué orden se debe de atender a los miembros de la cola.

Existe otra posibilidad complementaria de la teoría de colas, que es recurrir a la Simulación de dichos modelos mediante ordenador. Concretamente, dicha simulación no limita el análisis del sistema a datos estáticos, sino que puede variar en función de cómo evolucionen las magnitudes del mismo. Para poder efectuar la Simulación de los Sistemas de Colas se necesitará recurrir a la Simulación de valores pseudoaleatorios, distribuciones probabilísticas propias de la teoría colas y distribuciones no identificadas estadísticamente.

De acuerdo a lo indicado en lo referente a las deficiencias del sistema en estudio, se plantea implementar un sistema de simulación que permita observar las deficiencias del Hospital con mayor profundidad y así poder tomar decisiones de cambio.

La simulación permitirá analizar el desempeño y las deficiencias del entorno real, con respecto a factores como: tasas de llegadas, demoras de atención, tiempos de espera. Esto conducirá a determinar la estrategia para el alcance de los objetivos del Sistema.

### **I.3. OBJETIVOS.**

#### **I.3.1. Objetivo General.**

- Crear un modelo que describa el comportamiento actual del sistema, mejorando los procesos que producen cuellos de botella y poder atender a los pacientes según su prioridad de urgencia.

#### **I.3.2. Objetivos específicos.**

- Ver lo que está sucediendo en el sistema simulado y obtener la naturaleza del sistema, para así poder encontrar los cuellos de botella en los tiempos de espera de los pacientes de acuerdo a la prioridad.
- Al identificar los cuellos de botella, buscar un nuevo modelo que sea óptimo y reconocer las variables endógenas para conseguir que las deficiencias hayan disminuido o en su defecto hayan sido eliminadas.
- Comparar los resultados obtenidos del sistema actual con el nuevo modelo para justificar las decisiones para así mejorar el proceso de atención.



#### **I.4. IMPORTANCIA Y ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.**

Con el trabajo a realizarse se afirma que:

La teoría de Colas es una rama de la investigación operativa, que utiliza conceptos del campo de los procesos estocásticos, desarrollada para predecir el comportamiento de los sistemas de colas.

Con la Simulación se puede estudiar el comportamiento de las organizaciones, sin modificar su estructura real y sin ocasionar costos administrativos.

La flexibilidad de la Simulación en los modelos contrasta con el Análisis Matemático, ya que con la Simulación se evita errar en muchas suposiciones que podrían afectar en los resultados.

Los alcances que se obtienen, es decir, los datos recopilados del modelo real, nos van a permitir establecer los parámetros los cuales vamos a tomar como límites para nuestro modelo a desarrollar.

#### **I.5. VARIABLES DE DECISIÓN.**

##### **I.5.1. Variables Exógenas**

Actividades en el medio ambiente, que afectan el sistema:

- Tiempo de arribo
- Tiempo de Servicio

##### **I.5.2. Variables Endógenas**

Actividades que ocurren en el sistema:

- Tiempo promedio de espera
- Tiempo promedio de servicio
- Número promedio de pacientes en la cola

- Número promedio de atenciones

#### **I.5.3. Variables de estado**

- Numero de arribos al sistema de Emergencias del Hospital
- Número de pacientes en la cola
- Tiempo de espera en la cola
- Tiempo simulado
- Tiempo de entrada
- Tiempo de salida

#### **I.5.4. Parámetros**

- Promedio de tiempo de espera
- Promedio de tiempo de servicio

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **II.1.TEORIA DE SISTEMAS.** Rincón [9] Int.

##### **II.1.1.Conceptos Básicos y características**

##### **II.1.1.1.Teoría General de Sistemas.**

Al estudiar la teoría de sistemas se debe comenzar por los supuestos en la teoría general de los sistemas. Boulding intentó una síntesis de los supuestos en la teoría general de los sistemas y señala cinco premisas básicas. Dichas premisas se podrían denominar igualmente postulados (P):

**P1.** El orden, la regularidad y la carencia de azar son preferibles a la carencia de orden o a la irregularidad (caos) y a la existencia de un estado aleatorio.

**P2.** El carácter ordenado del mundo empírico hace que el mundo sea bueno, interesante y atractivo para el teórico de los sistemas.

**P3.** Hay orden en el ordenamiento del mundo exterior o empírico (orden en segundo grado): una ley de leyes.

**P4.** Para establecer el orden, la cuantificación y la matematización son auxiliares altamente valiosos.

**P5.** La búsqueda de la ley y el orden implica necesariamente la búsqueda de los referentes empíricos de este orden y de esta ley.

## **II.1.2. Características de la Teoría General de Sistemas.**

Según Schoderbek y otros (1993) las características que los teóricos han atribuido a la teoría general de los sistemas son las siguientes:

- 1. Interrelación e interdependencia de objetos, atributos, acontecimientos y otros aspectos similares.** Toda teoría de los sistemas debe tener en cuenta los elementos del sistema, la interrelación existente entre los mismos y la interdependencia de los componentes del sistema. Los elementos no relacionados e independientes no pueden constituir nunca un sistema.
- 2. Totalidad.** El enfoque de los sistemas no es un enfoque analítico, en el cual el todo se descompone en sus partes constituyentes para luego estudiar en forma aislada cada uno de los elementos descompuestos: se trata más bien de un tipo de enfoque, que trata de encarar el todo con todas sus partes interrelacionadas e interdependientes en interacción.
- 3. Búsqueda de objetivos.** Todos los sistemas incluyen componentes que interactúan, y la interacción hace que se alcance alguna meta, un estado final o una posición de equilibrio.
- 4. Insumos y productos.** Todos los sistemas dependen de algunos insumos para generar las actividades que finalmente originaran el logro de una meta. Todos los sistemas originan algunos productos que otros sistemas necesitan.

5. **Transformación.** Todos los sistemas son transformadores de entradas en salidas. Entre las entradas se pueden incluir informaciones, actividades, una fuente de energía, conferencias, lecturas, materias primas, etc. Lo que recibe el sistema es modificado por éste de tal modo que la forma de la salida difiere de la forma de entrada.
6. **Entropía.** La entropía está relacionada con la tendencia natural de los objetos a caer en un estado de desorden. Todos los sistemas no vivos tienden hacia el desorden; si los deja aislados, perderán con el tiempo todo movimiento y degenerarán, convirtiéndose en una masa inerte.
7. **Regulación.** Si los sistemas son conjuntos de componentes interrelacionados e interdependientes en interacción, los componentes interactuantes deben ser regulados (manejados) de alguna manera para que los objetivos (las metas) del sistema finalmente se realicen.
8. **Jerarquía.** Generalmente todos los sistemas son complejos, integrados por subsistemas más pequeños.
9. **Diferenciación.** En los sistemas las unidades especializadas desempeñan funciones especializadas. Esta diferenciación de las funciones por componentes es una característica de todos los sistemas y permite al sistema adaptarse a su ambiente.
10. **Equifinalidad.** Esta característica de los sistemas afirma que los resultados finales se pueden lograr con diferentes condiciones iniciales y de maneras diferentes.

## **II.2. TEORIA DE COLAS**

### **II.2.1. Estructura básica de los modelos de colas**

Hillier [2] p. 766

#### **Proceso básico de colas**

El proceso básico supuesto por la mayor parte de los modelos de colas es el siguiente. Los clientes que requieren un servicio se generan a través del tiempo en una fase de entrada. Estos clientes entran al sistema y se unen a una cola. En determinado momento se selecciona un miembro de la cola, para proporcionarle el servicio, mediante alguna regla conocida como disciplina de servicio. Luego, se lleva a cabo el servicio requerido para el cliente en por mecanismo de servicio, después de lo cual el cliente sale del sistema de colas.

#### **Fuente de entrada (población potencial)**

Una característica de la fuente de entrada es su tamaño. El tamaño es el número total de clientes que pueden requerir servicio en determinado momento, es decir, el número total de clientes potenciales distintos. Esta población a partir de la cual surgen las unidades que llegan al sistema se conoce como fuente de entrada. Puede suponerse que el tamaño es infinito o finito (de modo que también se dice que la fuente de entrada es ilimitada o limitada, respectivamente).

#### **Cola o Línea de Espera.**

Es el conjunto de usuarios que esperan servicio. Una cola se caracteriza por el número máximo permisible de

clientes que puede admitir. Las colas pueden ser finitas o infinitas, según si este número es finito o infinito. La suposición de una cola infinita es la estándar para la mayor parte de los modelos, incluso en situaciones en las que de hecho existe una cota superior (relativamente grande) sobre el número permitido de clientes, ya que manejar una cota así puede ser un factor complicado para el análisis. Los sistemas de colas en los que la cota superior es tan pequeña que se llega a ella con cierta frecuencia, necesitan suponer una cola finita.

### **Disciplina de la cola.**

La disciplina de líneas de espera explica el método usado para determinar el orden en el cual se atiende a los clientes. Las disciplinas son las siguientes:

- **FCFS** (first come, first served), en la cual el que primero llega se atiende primero.
- **LCFS** (last come, first served), las llegadas más recientes son las primeras en entrar al servicio.
- **SIRO** (service in random order), el cliente al pasar al servicio es elegido por el servidor, en forma aleatoria de entre los clientes que están esperando atención.
- **Prioridad**, en una disciplina de prioridad se clasifica cada llegada en una categoría. Cada categoría recibe luego un nivel de prioridad, dentro de cada nivel de prioridad, los clientes entran al servicio de acuerdo a FCFS. Las disciplinas de prioridad se usan a menudo en las

salas de urgencia con el objeto de determinar el orden en el cual los pacientes reciben atención.

### **Mecanismo de servicio.**

El mecanismo de servicio consiste en una o más instalaciones de servicio, cada una de ellas con uno o más canales paralelos de servicio, llamados servidores. Si existe más de una instalación de servicio, puede ser que sirva al cliente a través de una secuencia de ellas (canales de servicio en serie). En una instalación dada, el cliente entra en uno de estos canales y el servidor le presta el servicio completo. Un modelo de colas debe especificar el arreglo de las instalaciones y el número de servidores (canales paralelos) en cada una. Los modelos más elementales suponen una instalación, ya sea con un servidor o con un número finito de servidores.

El tiempo que transcurre desde el inicio del servicio para un cliente hasta su terminación en una instalación se llama tiempo de servicio (o duración del servicio). Un modelo de un sistema de colas determinado debe especificar la distribución de probabilidad de los tiempos de servicio para cada servidor (y tal vez para los distintos tipos de clientes), aunque es común suponer la misma distribución para todos los servidores.



## Un proceso de Colas Elemental

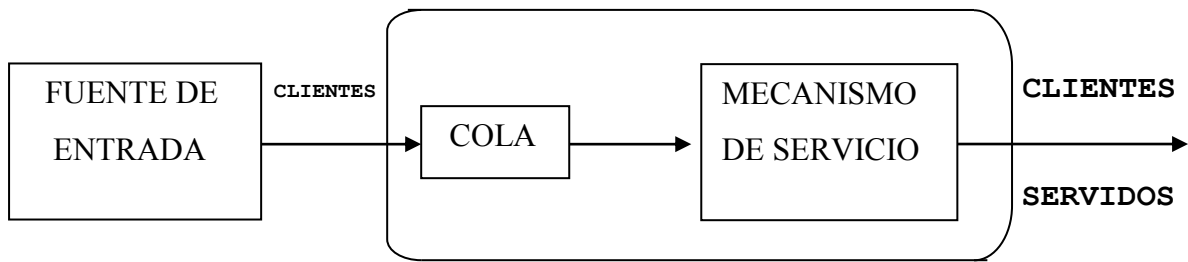


Fig. II.1

### TERMINOLOGÍA Y NOTACIÓN:

- Estado del sistema = número de clientes en el sistema.
- $N(t)$  = número de clientes en el sistema de colas en el tiempo  $t$ ,  $t > 0$
- $P_n(t)$  = probabilidad de  $n$  clientes en el sistema de colas en el tiempo  $t$ ,  $t > 0$ .
- $s$  = número de servidores.
- $\lambda_n$  = Tasa media de llegadas (número esperado de llegadas por unidad de tiempo).
- $\mu_n$  = Tasa media de servicio en todo el sistema, cuando hay  $n$  clientes en el sistema
- $P_n$  = Probabilidad de que haya exactamente  $n$  clientes en el sistema.
- $L$  = Número esperado de clientes en el sistema.
- $L_q$  = Número esperado de clientes en la cola (excluye los clientes que están en servicio).
- $W_q$  = Tiempo promedio de espera en la cola (excluye tiempo de servicio).
- $W$  = Tiempo promedio de permanencia en el sistema (incluye tiempo de servicio).

**II.2.2. Procesos de nacimiento y muerte.** Hillier [2]  
p.780, Winston [4] p. 1063

La mayor parte de los modelos elementales de colas suponen que las entradas (llegadas de clientes) y las salidas (clientes que se van) del sistema ocurren de acuerdo al proceso de nacimiento y muerte.

**Nacimiento**  $\cong$  Llegada de un nuevo cliente al sistema de colas

**Muerte**  $\cong$  Salida del cliente servido.

Recordemos que  $N(t)$  es el número de clientes que hay en el sistema en el tiempo  $t$ .

El proceso de nacimiento y muerte describe en términos probabilísticos como cambia  $N(t)$  al aumentar  $t$ .

**Supuesto 1**

Dado  $N(t) = n$ , la distribución de probabilidad del tiempo que falta para el próximo nacimiento (llegada) es exponencial con parámetro  $\lambda_n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ )

**Supuesto 2**

Dado  $N(t) = n$ , la distribución de probabilidad del tiempo que falta para la próxima muerte (terminación del servicio) es exponencial con parámetro  $\mu_n$  ( $n = 1, 2, \dots$ )

**Supuesto 3**

Las variables aleatorias de los tiempos que faltan para la próxima llegada y para la terminación del servicio son mutuamente independientes.

La siguiente transición del estado del proceso es:

$n \longrightarrow n+1$  (un solo nacimiento)  
 Ó

$n \longrightarrow n-1$  (una sola muerte)

Depende de cuál de las dos variables es más pequeña.

### Diagrama de Tasas de Proceso de Nacimiento y Muerte.

El siguiente diagrama refleja el proceso de nacimiento y muerte.

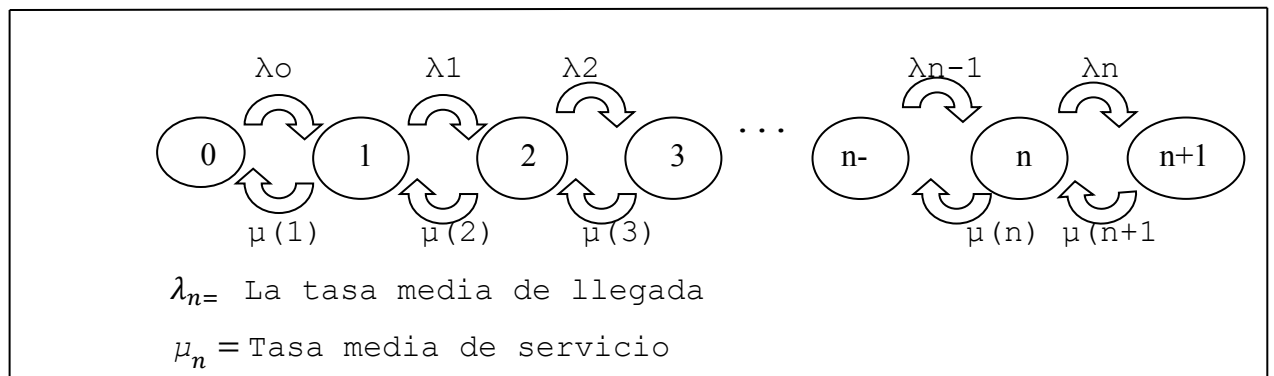


Fig. II.2

Para el desarrollo del proceso se utiliza la Ecuación de Balance:

Tasa de Entrada = Tasa de Salida

Si el proceso se encuentra en equilibrio estadístico, las Ecuaciones de Balance se expresan así:

### Ecuación de balance

ESTADO	Tasa de entrada = Tasa de salida
0	$\mu_1 P_1 = \lambda_0 P_0$
1	$\lambda_0 P_0 + \mu_2 P_2 = (\lambda_1 + \mu_1) P_1$
2	$\lambda_1 P_1 + \mu_3 P_3 = (\lambda_2 + \mu_2) P_2$
.	.
.	.
.	.
n-1	$\lambda_{n-2} P_{n-2} + \mu_n P_n = (\lambda_{n-1} + \mu_{n-1}) P_{n-1}$

Fig. II.3

### Resultados del proceso de nacimiento y muerte.

Al aplicar este procedimiento se obtienen los siguientes resultados:

#### Probabilidades de Estado de $P_n$

ESTADO:

<b>0</b>	$P_1 = \frac{\lambda_0}{\mu_1} P_0$
<b>1</b>	$P_2 = \frac{\lambda_1}{\mu_2} P_1 + \frac{1}{\mu_2} (\mu_1 P_1 - \lambda_0 P_0) \quad ;$ $\frac{\lambda_1}{\mu_2} P_1 = \frac{\lambda_1 \lambda_0}{\mu_2 \mu_1} P_0 \quad \rightarrow \quad P_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_0}{\mu_2 \mu_1} . P_0$
<b>2</b>	$P_3 = \frac{\lambda_2}{\mu_3} P_1 + \frac{1}{\mu_3} (\mu_2 P_2 - \lambda_1 P_1) \quad ;$ $\frac{\lambda_2}{\mu_3} P_2 = \frac{\lambda_2 \lambda_1 \lambda_0}{\mu_3 \mu_2 \mu_1} P_0 \quad \rightarrow \quad P_3 = \frac{\lambda_2 \lambda_1 \lambda_0}{\mu_3 \mu_2 \mu_1} . P_0$
	.
	.
	.
<b>n-1</b>	$P_n = \frac{\lambda_{n-1}}{\mu_n} P_{n-1} + \frac{1}{\mu_n} (\mu_{n-1} P_{n-1} - \lambda_{n-2} P_{n-2}) = \frac{\lambda_{n-1}}{\mu_n} P_{n-1}$ $= \frac{\lambda_{n-1} \lambda_{n-2} \dots \lambda_0}{\mu_{n+1} \mu_n \dots \mu_1} P_0$
<b>n</b>	$P_{n+1} = \frac{\lambda_n}{\mu_{n+1}} P_n + \frac{1}{\mu_{n+1}} (\mu_n P_n - \lambda_{n-1} P_{n-1}) = \frac{\lambda_n}{\mu_{n+1}} P_n$ $= \frac{\lambda_n \lambda_{n-1} \dots \lambda_0}{\mu_{n+1} \mu_n \dots \mu_1} P_0$

Fig. II.4

Para simplificar la notación:

$$C_n = \frac{\lambda_{n-1}\lambda_{n-2}\dots\lambda_0}{\mu_n\mu_{n-1}\dots\mu_1} \quad \text{Para } n = 1, 2, 3 \dots$$

Entonces:

$$P_n = C_n P_0 \quad \text{Para } n = 0, 1, 2, \dots$$

Teniendo en cuenta que la suma de las probabilidades ha de ser 1, se tiene:

$$\sum_{n=0}^{\infty} P_n = 1 = P_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n P_0 = P_0(1 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n)$$

Así, la probabilidad de que no se encuentren clientes en el sistema de colas es:

$$P_0 = (\sum_{n=0}^{\infty} C_n)^{-1} \rightarrow P_0 = (1 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n)^{-1}$$

Las medidas de desempeño del sistema ( $L$ ,  $L_q$ ,  $W$ ,  $W_q$ ) se pueden hallar enseguida después de calcular las  $P_n$  mediante las formulas anteriores.

$$L = \sum_{n=0}^{\infty} n P_n$$

$$L_q = \sum_{n=0}^{\infty} (n - s) P_n$$

$$W = \frac{L}{\lambda} \quad W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

$$\bar{\lambda} = \sum_{n=0}^{\infty} \lambda_n P_n$$

**II.2.3. Modelado del proceso de servicio.** Winston [4]  
p.1059

Supongamos que los tiempos de servicios de pacientes distintos son variables aleatorias independientes, y que cada tiempo de servicio para cada uno de los pacientes está regido por una variable aleatoria  $S$  cuya función de densidad es  $s(t)$ . Sea  $1/\mu$  el tiempo medio de servicio de un paciente.

$$\frac{1}{\mu} = \int_0^{\infty} t.s(t)dt$$

$1/\mu$  está dado en horas por paciente, de modo que las unidades de  $\mu$  son pacientes por hora. Por eso a  $(\mu)$  se le llama tasa de servicio.

Por ejemplo, si:  $\mu=4$ /hora significa que el servidor podría atender un promedio de 4 pacientes por hora, y el tiempo promedio de servicio de cada paciente sería  $1/4$  de hora, lo mismo ocurrirá con los tiempos entre llegadas.

Si los tiempos de servicio siguen una Distribución exponencial, la función es  $S(t) = \mu e^{-\mu t}$ , entonces el tiempo medio de servicio de un paciente sería  $1/\mu$ .

#### **II.2.4. Notación de kendall-lee para los sistemas de líneas de espera.**

Esta notación permite la identificación de los modelos de colas. Kendall, el 1953, introdujo una notación útil para modelos de colas con servidor múltiple, la cual describe las tres primeras características. Más tarde Lee (1966) adiciono las otras características a la notación:

$(A, B, S) : (d, E, F)$

A: Representa la distribución de los tiempos de llegada.

B: Representa la distribución de los tiempos de servicio.

A y B pueden representar las siguientes distribuciones de probabilidad.

M= Poisson o su equivalente exponencial.

GI= Los tiempos entre llegadas son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas.

D= Determinista (tipo Histograma)

G= General

De forma análoga se identifican los procesos de servicio con M, G y D.

B también puede ser:

$E_k$  = Distribución Erlang con parámetro K para los tiempos de servicio.

S: Numero de canales de servicio.

d: Disciplina de cola. Ésta puede ser:

FIFO: Primero en entrar, primero en ser servido.

LIFO: Ultimo en entrar, primero en ser servido.

SIRO (RANDOM): Servido aleatorio.

RRI: Por orden de prioridad.

E: Cantidad máxima de clientes que permite el sistema.

F: Tamaño de la fuente de entrada.

E y F puede ser finito o infinito.

### **Ejemplo:**

$(M/E_2/8):(FIFO/10/\infty)$

Una clínica con ocho médicos, tiempos entre llegadas exponenciales, tiempos de servicio Erlang de dos fases, una disciplina de líneas de espera FIFO, una capacidad de 10 pacientes e infinitos pacientes potenciales.

## **II.3. TECNICAS DE SIMULACION.**

### **II.3.1. Principios básicos de la Simulación**

#### **II.3.1.1. Introducción a la Simulación.** García [1] p.1

En años recientes, el advenimiento de nuevos y mejores desarrollos en el área de la computación ha traído consigo innovaciones igualmente importantes en los terrenos de la toma de decisiones y el diseño de



procesos y productos. En este sentido, una de las técnicas de mayor impacto es la simulación. Hoy en día, el analista, tiene a su disposición una cantidad de software de simulación.

El concepto de simulación engloba muchas soluciones para propósitos diferentes. Por ejemplo, podríamos decir que el modelo de un avión a escala que se introduce a una cámara por donde se hace pasar un flujo de aire, puede simular los efectos que experimentará un avión real cuando se vea sometido a turbulencia. Entre los distintos tipos de Simulación que se pueden usar (por la magnitud de nuestros datos y enfoque), haremos uso del que se basa en ecuaciones matemáticas y estadística conocido como Simulación de Eventos Discretos. En lugar de usar el túnel de viento, el desempeño del sistema real se imita mediante distribuciones de probabilidad para generar aleatoriamente los distintos eventos que ocurren en el sistema. El modelo de simulación sintetiza el sistema con la construcción de cada componente y de cada evento. Después, el modelo corre el sistema simulado para obtener observaciones estadísticas del desempeño del sistema, como resultado de los diferentes eventos generados de manera aleatoria. Como las corridas de simulación, por lo general, requieren la generación y el procesamiento de una gran cantidad de datos, es evidente que estos experimentos estadísticos simulados se lleven a cabo en una computadora.

Cuando es necesario usar simulación, como parte de un estudio de Investigación Operativa, primero se hace un análisis teórico preliminar para desarrollar un diseño básico del sistema. Después se usa simulación para

experimentar con los diseños específicos con el fin de estimar el desempeño real. Una vez desarrollado y elegido el diseño detallado, se prueba el sistema real para ajustar los últimos detalles del diseño final.

#### **II.3.1.2. Definiciones de Simulación.**

Se definirán los siguientes conceptos básicos que comprende un modelo.

- **Simulación de Eventos Discretos.**

Conjunto de relaciones lógicas, matemáticas probabilísticas, que integran el comportamiento de un sistema bajo estudio cuando se presenta un evento determinado. Los objetivos son comprender, analizar y mejorar las condiciones de operación relevantes del sistema.

- **Sistema.**

Conjunto de elementos que se interrelacionan para funcionar como un todo.

- **Entidad.**

Representación de los flujos de entrada a un sistema (clientes, piezas).

- **Estado del sistema.**

Condición que guarda el sistema bajo estudio en un momento determinado, es como una fotografía de lo que está pasando en el sistema en cierto instante.

- **Evento.**

Cambio en el estado actual del sistema (la entrada o salida de una entidad).

- **Localización.**

Lugares donde el proceso puede detenerse para ser transformado o espera serlo (almacenes, bandas trasportadores, maquinas, etc.)

- **Recursos.**

Dispositivos diferentes a las localizaciones necesarios para llevar a cabo una operación (un montacargas que traslada una pieza de un lugar a otro)

- **Atributo.**

Característica de una entidad (si la entidad es un motor, sus atributos serian color, peso, tamaño o cilindraje).

- **Reloj de la Simulación.**

Contador de tiempo de la Simulación.

### **II.3.1.3. Variable Aleatoria.**

#### **II.3.1.3.1. Definición.**

Son aquellas que tienen un comportamiento probabilístico en la realidad. Por ejemplo, el número de clientes que llegan cada hora a un banco depende del momento del día, del día de la semana y de otros factores; por lo general la afluencia de clientes será mayor al medio día que muy temprano por la mañana; la demanda será más alta el viernes que el miércoles; habrá más clientes un día de pago que un día normal, etc.

El comportamiento de la Variable Aleatoria es descrito por una distribución de probabilidad, con las siguientes características:

La suma de las probabilidades asociadas a todos los valores posibles de la variable aleatoria  $x$  es uno.

- Las probabilidades de que un posible valor de la variable  $x$  se presente siempre es mayor que cero o igual a cero.
- El valor esperado de la distribución de la variable aleatoria es la media de la misma, la cual a su vez estima la verdadera media de la población.
- Si la distribución de probabilidad asociada a una variable aleatoria está definida por más de un parámetro, dichos parámetros pueden obtenerse mediante un estimador mas sesgado; por ejemplo, la varianza de la población  $\sigma^2$  puede ser estimada usando la varianza de una muestra que es  $S^2$ . De la misma manera, la desviación estándar de la población  $\sigma$ , puede estimarse mediante la desviación estándar  $S$  de la muestra.

#### **II.3.1.3.2. Tipos de Variables Aleatorias**

Podemos diferenciar las variables aleatorias de acuerdo con el tipo de valores aleatorios que representan. Por ejemplo, si habláramos del número de clientes que solicitan cierto servicio en un periodo de tiempo determinado, podríamos encontrar valores tales como: 0, 1, 2,...,  $n$ ; es decir, un comportamiento como el que presentan las distribuciones de probabilidad discretas. Por otro lado, si habláramos del tiempo que tarda en ser atendida una persona, nuestra investigación tal vez arrojaría resultados como 1.54 minutos, 0.028 horas o 1.37 días, es decir, un comportamiento similar al de las distribuciones de probabilidad continuas. Considerando lo anterior podemos diferenciar entre

variables aleatorias discretas y variables aleatorias continuas.

### **Variables aleatorias discretas.**

Este tipo de variables tienen asociada una distribución de probabilidad con las siguientes propiedades:

$$1) \quad 0 \leq P(X_i) = p_i \leq 1 \quad \forall i$$

$$2) \quad \sum_{i=0}^{\infty} p_i = 1$$

$$3) \quad P(a \leq x \leq b) = \sum_{i=0}^b p_i = P_a + \dots + P_b$$

Algunas distribuciones discretas de probabilidad son la Uniforme, bernoulli, hipergeometrica, Poisson y binomial. Por ejemplo, si lo que queremos es modelar el número de usuarios por unidad de tiempo que llamarán a un teléfono de atención al cliente, el comportamiento de las llamadas puede ser descrito por una distribución de Poisson. Incluso podría ocurrir que el comportamiento de la variable no se pareciera a otras distribuciones de probabilidad conocida; si este fuera el caso es perfectamente válido usar una distribución empírica que se ajuste a las condiciones reales de probabilidad.

### **Variables Aleatorias Continuas.**

Este tipo de variables se representan mediante una función de densidad de probabilidad. Dada esta condición cambiamos el uso de la sumatoria por la de una integral para conocer la función acumulada de la variable aleatoria. Por lo tanto las variables aleatorias continuas deben cumplir las siguientes condiciones:

$$1) P(x) \geq 0$$

$$2) P(x=a) = 0$$

$$3) P(a \leq x \leq b) = P(a < x < b) = \int_a^b f(x)$$

Entre las distribuciones de probabilidad tenemos la uniforme, exponencial, normal, Weibull, Chi-Cuadrada, Erlang, etc. Al igual que en las distribuciones discretas, algunos procesos pueden estar asociados a ciertas distribuciones.

Por ejemplo, es posible que el tiempo de llegada de cada cliente a un sistema tenga una distribución de probabilidad muy semejante a una distribución exponencial, o que el tiempo que le toma a un operario realizar una serie de tareas se comporte de manera muy similar a la dispersión que presenta una distribución normal.

#### **II.3.1.3.3.Simulaciones con variables**

##### **Aleatorias continuas.**

En muchas situaciones es más práctico y real usar variables aleatorias continuas. Se presentan a continuación procedimientos para generar variables aleatorias a partir de distribuciones continuas. El principio básico es muy similar al discreto. En el método discreto, primero se genera un número aleatorio  $R(0,1)$  y luego se transforma en una variable aleatoria a partir de la distribución especificada. El método para llevar a cabo la transformación es bastante diferente del caso discreto.

### **Método de transformada Inversa (MTI)**

Se utiliza por lo general en distribuciones exponencial, uniforme, triangular y la de Weibull. Se explicará el procedimiento:

#### **Ejemplo.**

#### **Distribución Exponencial.**

La distribución exponencial tiene aplicaciones importantes en la representación matemática de sistemas de colas. La función de densidad de probabilidad (fdp) de la distribución exponencial está dada por:

$$f(x) = \begin{cases} \alpha e^{-\alpha x} & x \geq 0, \alpha > 0 \\ 0 & o.c \end{cases}$$

Se va a utilizar el método de la transformación inversa para generar observaciones a partir de una distribución exponencial.

#### **Procedimiento.**

**Paso 1.** Se calcula la función de distribución acumulada  $F(x)$ .

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x < 0 \\ 1 - e^{-\alpha x} & x \geq 0 \end{cases}$$

**Paso2.** Se genera un numero aleatorio  $r$ .

**Paso 3.** Se establece  $F(x)=r$  para determinar el valor de  $x$ . Con esto se obtiene:

$$1 - e^{-\alpha x} = r$$

Reordenando:

$$e^{-\alpha x} = 1 - r$$

Tomando logaritmo natural a ambos lados se tiene:

$$-\alpha x = \ln(1 - r)$$

Se despeja el valor de x para obtener la solución:

$$x = -\frac{1}{\alpha} \ln(1 - r)$$

Para simplificar los cálculos, se reemplaza (1-r) con r. Puesto que r es un número aleatorio, (1-r) también es un número aleatorio. Así, el proceso generador para la distribución exponencial ahora será:

$$x = -\frac{1}{\alpha} \ln r$$

Por ejemplo,  $r=1/e$  da  $x=1/\alpha$

$r=1$  produce  $x=0$

#### **II.3.1.4. Ventajas y desventajas de la Simulación.**

García [1] p.7

##### **Ventajas:**

- Es muy buena herramienta para conocer el impacto de los cambios en los procesos sin necesidad de llevarlos a cabo en la realidad.
- Mejora el conocimiento del proceso actual al permitir que el analista vea cómo se comporta el modelo generado bajo diferentes escenarios.
- Puede utilizarse como medio de capacitación para la toma de decisiones.
- Es más económico realizar un estudio de simulación que hacer muchos cambios en los procesos reales.
- En problemas de gran complejidad, la simulación genera una buena solución.



- En la actualidad los paquetes de software para simulación tienden a ser más sencillos, lo que facilitan su aplicación.

- Gracias a las herramientas de animación con que cuentan estos paquetes es posible ver como se comportará un proceso una vez que sea mejorado.

#### **Desventajas.**

- Aunque muchos paquetes de software permiten obtener el mejor escenario a partir de una combinación de variables posibles, la simulación no es una herramienta de optimización.

- La simulación puede ser costosa cuando se requiere emplearla en problemas relativamente sencillos de resolver, en lugar de soluciones analíticas que se han desarrollado de manera específica para estos casos.

- Se requiere bastante tiempo, generalmente meses, para realizar un buen estudio de simulación.

#### **II.3.1.5. Tipos de Aplicaciones de Simulación.** Hillier [2] p. 942

Debido a su versatilidad, la simulación es una técnica excepcional. Se puede usar para investigar virtualmente cualquier tipo de sistema estocástico. Los más importantes son:

- Diseño y operación de sistemas de colas.
- Administración de sistemas de Inventarios.
- Estimación de la probabilidad para terminar un proyecto a tiempo.

- Diseño y operación de sistemas de manufactura.
- Diseño y operación de sistemas de distribución.
- Análisis de riesgo financiero.
- Aplicaciones en el cuidado de la salud.
- Aplicaciones en otras industrias de servicios.

### **II.3.2. Descripción de un proceso de Simulación Importante.** Hillier [2] p. 954

Se describen a continuación los pasos típicos que incluye un estudio de investigación de operaciones basado en la aplicación de Simulación.

#### **Paso 1. Formulación del problema y planeación del estudio.**

Formularse las siguientes preguntas:

1. ¿Qué problema desea estudiar la administración?
2. ¿Cuáles son los objetivos globales del estudio?
3. ¿Qué aspectos específicos debe incluirse?
4. ¿Qué tipo de sistemas y aspectos alternativos debe considerarse?
5. ¿Qué medidas de desempeño del sistema son de interés para la administración?
6. ¿Cuáles son las restricciones de tiempo para realizar el estudio?

#### **Paso 2. Recolección de datos y formulación del modelo de Simulación.**

Los tipos de datos necesarios dependen de la naturaleza del sistema que se simula. En el caso de un sistema de colas, los datos clave serían la distribución de los tiempos entre llegadas y los tiempos de servicio. Para un sistema de inventarios de un solo producto, se necesita la distribución de la

demanda del producto y la distribución de los tiempos de entrega entre colocar una orden de reabastecimiento y recibirla. En caso de un sistema de manufactura que incluye maquinas que suelen descomponerse, se necesita determinar la distribución de los tiempos de reparación.

Se observa, en cada ejemplo, que las cantidades relevantes que se requiere son las distribuciones de probabilidad. Con el objeto de generar escenarios representativos acerca del desempeño del sistema, es esencial que una simulación genere observaciones aleatorias que sigan estas distribuciones en lugar de usar solo promedios.

Por lo general solo será posible estimar estas distribuciones. Esto se realiza después de hacer observaciones directas de una versión existente del sistema bajo estudio, o de un sistema similar. Luego de examinados los datos, si la forma de la distribución no está clara, pero se parece a un tipo estándar de distribución, se puede usar una prueba estadística llamada prueba de bondad de ajuste para verificar si los datos se ajustan a esa forma estándar. La media muestral y la varianza muestral de los datos también proporcionan una estimación de la media y la varianza de la distribución. Si no es posible obtener datos relevantes porque no existe un sistema similar, otras fuentes factibles de información para estimar una distribución incluyen estudios de tiempos de ingeniería industrial, registros de ingeniería, manuales de operación, especificaciones de máquinas y entrevistas con las

personas que tienen experiencia en operaciones similares.

Muchas veces un Modelo de Simulación se formula en términos de un diagrama de flujo que enlaza los componentes del Sistema. Las reglas de operación, que se da para cada componente, incluyen las distribuciones de probabilidad que controlan cuándo ocurrirán los eventos. El modelo solo debe contener suficiente detalle para captar la esencia del sistema. Para llevar a cabo un estudio grande, es buena idea comenzar por formular y depurar una versión simplificada del modelo antes de agregar detalles importantes.

### **Paso 3. Comprobación de la precisión del modelo de Simulación.**

Antes de construir el programa de computadora se debe verificar la precisión del Modelo de Simulación. Esto se logra mediante una revisión estructurada del modelo conceptual y su presentación ante una audiencia compuesta por todas las personas clave.

### **Paso 4. Selección del Software y creación del programa de Computadora.**

Existen cuatro clases importantes de software que se utiliza para simulaciones en computadora. Uno es la hoja de cálculo. Las otras tres clases de software para simulación están diseñadas para aplicaciones más grandes en las que ya no es conveniente hojas de cálculo. Una de ellas la constituyen los lenguajes de programación de propósito general como C FORTRAN, PASCAL, BASIC que se usaron mucho en los inicios del desarrollo del campo, ahora se usan mucho menos.

La tercera clase es un lenguaje de simulación de propósito general. Esos lenguajes proporcionan las características necesarias para programar un modelo de simulación y pueden reducir el tiempo de programación en forma sustancial. También proporcionan un marco de trabajo natural para el modelado de simulación. Esto también simplifica la tarea de modificar y mantener un modelo de simulación después de que este se construye inicialmente. Además, estos lenguajes proporcionan una buena detección de errores porque muchos tipos de errores potenciales en un Modelo de Simulación se verifican de manera automática.

Un desarrollo clave en las décadas de los ochenta y los noventa ha sido el surgimiento de la cuarta clase de lenguajes de simulación, llamados simuladores orientados a las aplicaciones. Cada uno está diseñado para simular tipos específicos de sistemas. Su meta es construir un "programa" de simulación mediante menús y gráficos, sin necesidad de programar.

#### **Paso 5. Prueba de Validación del Modelo de Simulación.**

Después de construir y depurar el programa de computadora, el siguiente paso es probar si el modelo de simulación incorporado en él proporciona resultados válidos para el sistema que intenta representar. En particular, ¿los valores de las medidas generadas por el modelo de simulación son una aproximación cercana de las medidas de desempeño real?

La respuesta a esta pregunta es casi siempre difícil, porque la mayoría de las versiones del sistema "real" no existen en la actualidad. Es común que el propósito de la simulación sea investigar y comparar varias

configuraciones propuestas para ayudar a elegir la mejor.

Sin embargo, es posible que se encuentre en operación alguna versión del sistema real. Si es así, sus datos de desempeño deben compararse con las medidas correspondientes generadas por las corridas del piloto de simulación.

En algunos casos suele disponerse de un modelo matemático que proporcione resultados de una versión sencilla del sistema. Si es así, los resultados deben compararse con los resultados de la simulación.

Cuando no se dispone de datos reales para comparar con los resultados de la simulación, una posibilidad es realizar una prueba de campo para recolectarlos. Esta prueba incluye construir un pequeño prototipo de alguna versión del sistema propuesto y ponerlo en marcha. Después del estudio de simulación este prototipo se puede utilizar para perfeccionar el diseño del sistema, antes de instalar el sistema real. Otra validación consiste en verificar la credibilidad del cambio en los resultados de la simulación, cuando cambia la configuración del sistema simulado. Aún cuando no exista una base para verificar si las medidas de desempeño que se obtuvo para la versión específica del sistema son razonables, con frecuencia se puede llegar a algunas conclusiones acerca de cómo debe cambiar el desempeño relativo del sistema cuando se cambian sus parámetros.

Otra manera de verificar la validez del modelo de simulación es la observación de las animaciones de las corridas de simulación. Una vez que el modelo opera de manera adecuada, las animaciones generan también interés y credibilidad en el estudio de simulación,

tanto en la administración como en el personal operativo.

#### **Paso 6. Planeación de las simulaciones que deben realizarse.**

En este punto, es necesario comenzar a tomar decisiones acerca de las configuraciones del sistema que se va a simular. A menudo este es un proceso evolutivo, donde los resultados iniciales de una gama de configuraciones ayudan a determinar qué configuraciones específicas justifican una investigación detallada.

También debe tomarse decisiones sobre algunos aspectos estadísticos. Uno de ellos es la longitud del periodo de calentamiento para esperar que el sistema alcance la condición de estado estable, antes de iniciar la recolección de datos. Con frecuencia, las corridas preliminares se usan para analizar este aspecto. Como los sistemas suelen requerir un tiempo sorprendentemente largo para llegar al estado estable, es útil seleccionar condiciones iniciales de un sistema simulado que parezca representativo de las condiciones de estado estable a fin de reducir al mínimo el tiempo requerido.

Otro aspecto estadístico importante es la longitud de la corrida de simulación después del periodo de calentamiento de cada configuración del sistema que se simula. Es necesario tener presente que la simulación no produce valores exactos de las medidas de desempeño. En su lugar cada corrida de simulación puede verse como un experimento estadístico que genera observaciones estadísticas del desempeño del sistema simulado. Estas observaciones se usan para obtener estimaciones estadísticas de las medidas de desempeño.

Al aumentar la longitud de la corrida se incrementa la precisión de las estimaciones.

La teoría estadística, para diseñar experimentos estadísticos realizados mediante simulación, es muy similar a la de los experimentos realizados por observación directa del desempeño de un sistema físico.

#### **Paso 7. Realización de corridas de simulación y análisis de resultados.**

La salida de la corrida de simulación proporciona estimaciones estadísticas de las medidas de desempeño deseadas de cada configuración del sistema que interesa. En general, además de una estimación puntual de cada medida de desempeño debe obtenerse un intervalo de confianza para indicar los valores probables de la medida.

#### **Paso 8: Presentación de recomendaciones a la administración.**

Después de completar el análisis, se necesita presentar las recomendaciones a la administración. Esta presentación suele hacerse mediante un informe escrito y formal a los administradores responsables de la toma de decisiones, respecto del sistema que se estudia.

El informe y la presentación, además de resumir la manera en la que se realizó el estudio, debe incluir documentación que valide el modelo de simulación, también pueden presentar una animación de una corrida simulada para comunicar mejor el proceso de simulación y agregar credibilidad. Asimismo es importante incluir



los resultados numéricos que proporcione la base lógica para las recomendaciones.

### **II.3.3. Simulación de Eventos Discretos**

Es aquella en la cual el estado de las variables cambia en intervalos discretos de tiempo. Estos cambios se dan cuando ocurre un evento. Este tipo de simulación se basa en el uso de ecuaciones matemáticas y estadísticas, en el cual se relacionan los diferentes eventos que pueden cambiar el sistema bajo estudio, por medio de distribuciones de probabilidad y condiciones lógicas del problema que se está analizando.

#### **II.3.3.1. Distribución de probabilidad y Simulación.**

Conjunto de valores que son contabilizados a partir de una frecuencia relativa, que equivale a la probabilidad de ocurrencia de un evento.

#### **II.3.3.2. Pasos para determinar una función de Distribución de Probabilidad.**

1. Recopilación de datos (empíricos). Recoger los datos del sistema y ubicarlos en una tabla.
2. Construir una Distribución de frecuencias relativas.
3. Graficar el histograma.
4. Proponer una Función de Distribución de Probabilidad.
5. Realizar las pruebas de bondad y ajuste:
  - \* Chi- Cuadrado.
  - \* Kolmogorov-Smirnov.

### **II.3.3.3. Pruebas de bondad y ajuste.** Mitac [3]

#### **II.3.3.3.1. Prueba de CHI CUADRADO**

El resultado de la data está basado en el valor calculado de la data empírica y un valor crítico ( $X^2$ ) obtenido de la tabla Chi- Cuadrado. Si el valor calculado

( $X^2$ ) es menor que el valor critico obtenido de la tabla, entonces la distribución teórica no puede ser rechazada como una buena representación de la distribución empírica. El valor  $X^2$  derivado de la data empírica está basado en dos factores:

1. La frecuencia observada en cada uno de los intervalos de clase
2. La frecuencia esperada correspondiente al mismo intervalo en una distribución teórica.

$Fo_i$ =Frecuencia observada en el i-esimo intervalo de clase.

$Fe_i$ =Frecuencia esperada en el i-esimo intervalo de clase.

K= Número total de intervalos de clase.

#### **II.3.3.3.2. Prueba KOLMOGOROV-SMIRNOV**

El procedimiento general de la prueba es:

1. Obtener al menos 30 datos de la variable aleatoria a analizar.
2. Calcular la media y la varianza de los datos.
3. Crear un histograma de  $m = \sqrt{n}$  intervalos, y obtener la frecuencia observada en cada intervalo  $O_i$ .
4. Calcular la probabilidad observada en cada intervalo  $PO_i = O_i/n_i$  esto es, dividir la frecuencia observada entre el número total de datos.

5. Acumular las probabilidades  $PO_i$  para obtener la probabilidad observada hasta el i-esimo intervalo  $PO_iA_i$ .
6. Establecer explícitamente la hipótesis nula, proponiendo una distribución de probabilidad que se ajuste a la forma del histograma.
7. Calcular la probabilidad esperada acumulada para cada intervalo  $PO_iA_i$ , a partir de la función de probabilidad propuesta.
8. Calcular el estadístico de prueba:  

$$C = \max |PE_iA_i - PO_iA_i| \quad i=1, 2, 3, \dots, k, \dots, m$$
9. Definir el nivel de significancia de la prueba  $\alpha$ , y determinar el valor critico de la prueba.
10. Comparar el estadístico de prueba con el valor crítico. Si el estadístico de prueba es menor que el valor critico no se puede rechazar la hipótesis nula.

#### **II.3.3.3.3. Comparación entre las pruebas CHI CUADRADO y KOLMOGOROV-SMIRNOV**

- La prueba K-S es solo válida para distribuciones continuas, mientras que la prueba Chi-Cuadrado es aplicable para distribuciones discretas y continuas.
- La prueba Chi-Cuadrado no es aplicable para muestras pequeñas mientras que la prueba K-S es válida para cualquier tamaño de muestra.
- En general para la prueba Chi-Cuadrado se necesita un tamaño de muestra de al menos 100 observaciones.

#### **II.4. EL SOFTWARE A EMPLEAR: AWESIM**

AweSim es un programa que apoya la gama de tareas necesarias para realizar un proyecto de Simulación. También proporciona capacidades de integración para

almacenar, recuperar, navegar y comunicar con las aplicaciones escritas en el exterior del Software. AweSim se interconecta a bases de datos, hojas de cálculo y programas de procesamiento de textos tales como Microsoft Office. Esta construida en Visual Basic y C/C ++.

Los diversos componentes que se emplean en AweSim se muestran en la figura II.6.

#### Componentes a emplear en Awesim

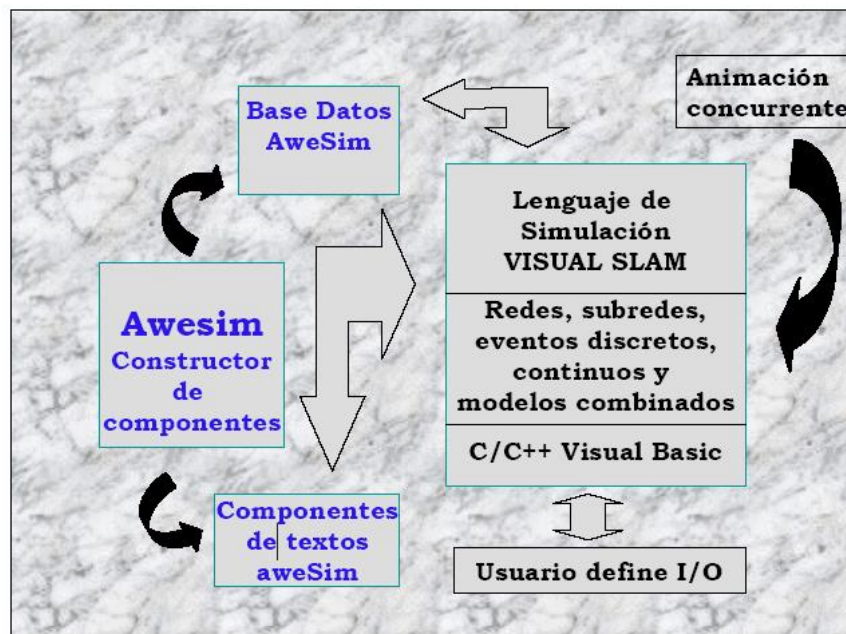


Fig. II.5

#### II.4.1. Modelamiento de Simulación empleando Slam

Visual SLAM (Simulation Language for Alternative Modeling) es un lenguaje de simulación para modelamientos alternativos. Puede ser usado como una herramienta para resolver problemas.

Se requiere que el usuario represente el sistema mediante diagramas, realizados sobre diversos nodos y actividades.

Basada sobre el análisis, la simulación puede ser usada como una herramienta de predicción para pronósticos y ayuda al planeamiento y desarrollo.

#### **II.4.2.Variables de visual slam**

<b>Nombre</b>	<b>Definición</b>
ATRIB[I]	Atributo I real de la actual entidad
LTRIB[I]	Atributo I entero de la actual entidad
STRIB[I]	Atributo I cadena de la actual entidad
XX[I]	Variable global real
LL[I]	Variable global entera
SZ[I]	Variable global tipo cadena
ARRAY[I, J]	Arreglo global
SS[I]	Derivada de SS[I]
TNOW	Tiempo actual

#### **II.4.3.Sentencias de control en Awesim.** Maldonado [7] web

**GEN:** Se incluye información del proyecto. También especifica el numero de replicas o corridas a ejecutar.

**INITIALIZE:** Fija la hora de inicio y la hora de fin de simulación.

**LIMITS:** Se declaran las variables de atributo y las variables globales que se utilizan en el modelo.

**PRIORITY:** Se utiliza para definir la regla de ordenamiento dentro de la fila: **FIFO** (primer ingreso primera salida), **LIFO** (ultimo ingreso primera salida), **HVF** (de mayor a menor), **LVF** (de menor a mayor).

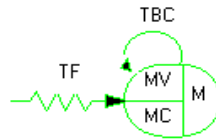
### Pantalla de construcción de la Red en Awesim



Fig. II.6

#### II.4.4. Conceptos en AweSim

**II.4.4.1. Nodo CREATE.** Crea entidades que recorren la red



**TF:** Es el tiempo en el cual se crea la primera entidad y es enviada a la red

**TBC:** Es el tiempo entre creación de entidades

**MV:** Es la variable que almacena el tiempo de creación de la entidad

**MC:** Es el máximo número de entidades que pueden ser creadas, si se especifica un número, esto denota la primera forma de parar la simulación

**M:** Es un clonador, su valor por defecto es 1

#### Ejemplo Nodo Create

#### Nodo CREATE

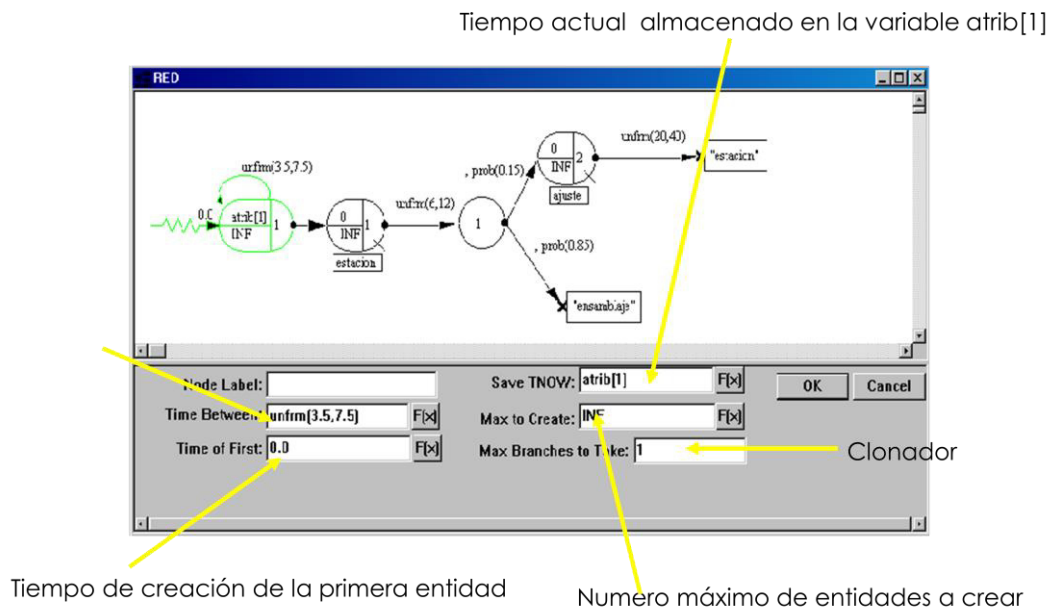


Fig. II.7

**II.4.4.2. Nodo QUEUE.** Ordena a las entidades que esperan una cola para pasar a una actividad. Almacena a cada elemento del conjunto entidad en un archivo del cual se debe indicar su número.



marca que identifica a un nodo queue

**IQ:** longitud inicial de la cola

**QC:** Capacidad de la cola

**IFL:** Identificador del archivo asociado a la cola

### Ejemplo Nodo Queue

### Nodo QUEUE

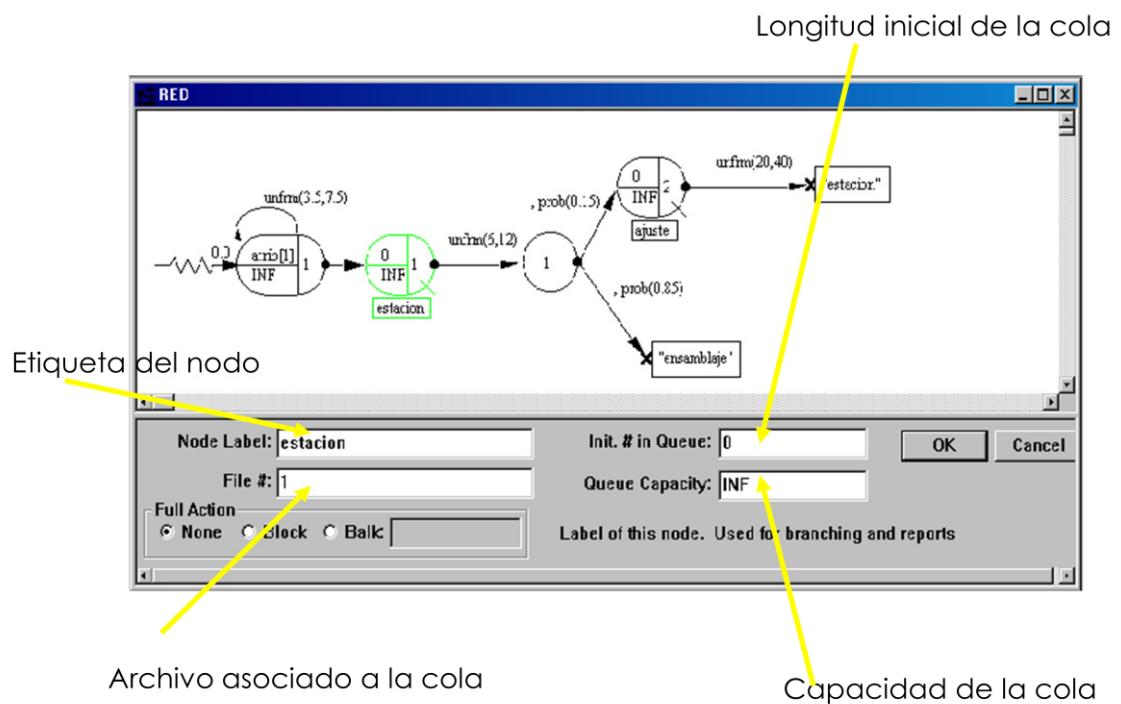
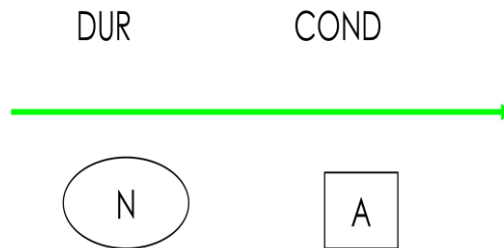


Fig. II.8



**II.4.4.3. ACTIVITY.** Una actividad une dos nodos, y es recorrida por las entidades.



**N:** Es el número de servidores en paralelo si se trata de una actividad de servicio.

**A:** Numero de la actividad (un entero o rango de enteros).

**DUR:** Es la duración especificada para la actividad.

**COND:** Es una condición o puede ser también una probabilidad.

### Ejemplo Nodo Activity

### ACTIVITY

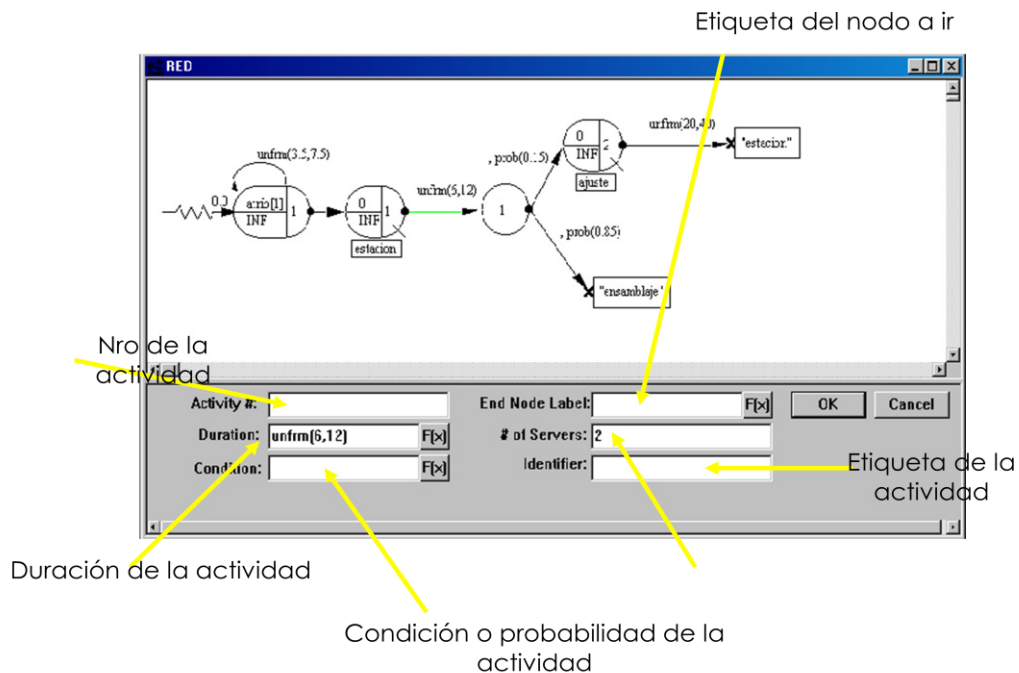


Fig. II.9

**II.4.4.4. Nodo COLCT.** Recoge estadísticas de las entidades que pasan por el nodo.

Se debe indicar la variable a ser medida.

El reporte de salida imprime el promedio y desviación estándar de la variable medida y el tamaño de la muestra.

El nodo COLCT imprime una línea de estadísticas.

### Ejemplo Nodo Colct

## Nodo COLCT

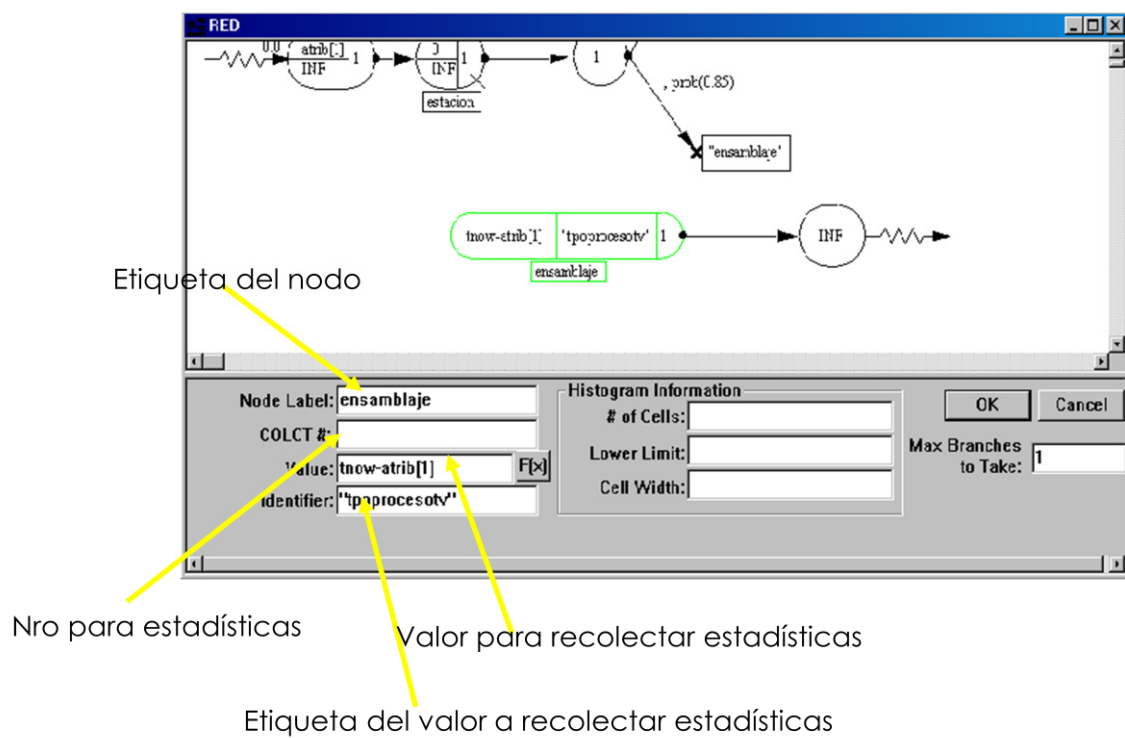
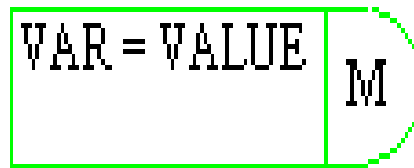


Fig. II. 10

II.4.4.5. **Nodo ASSIGN.** Asigna valores a las variables



**VAR:** variable

**VALUE:** valor a asignar

**M:** es un clonador, su valor por defecto es 1

### Ejemplo Nodo Assign

## Nodo **ASSIGN**

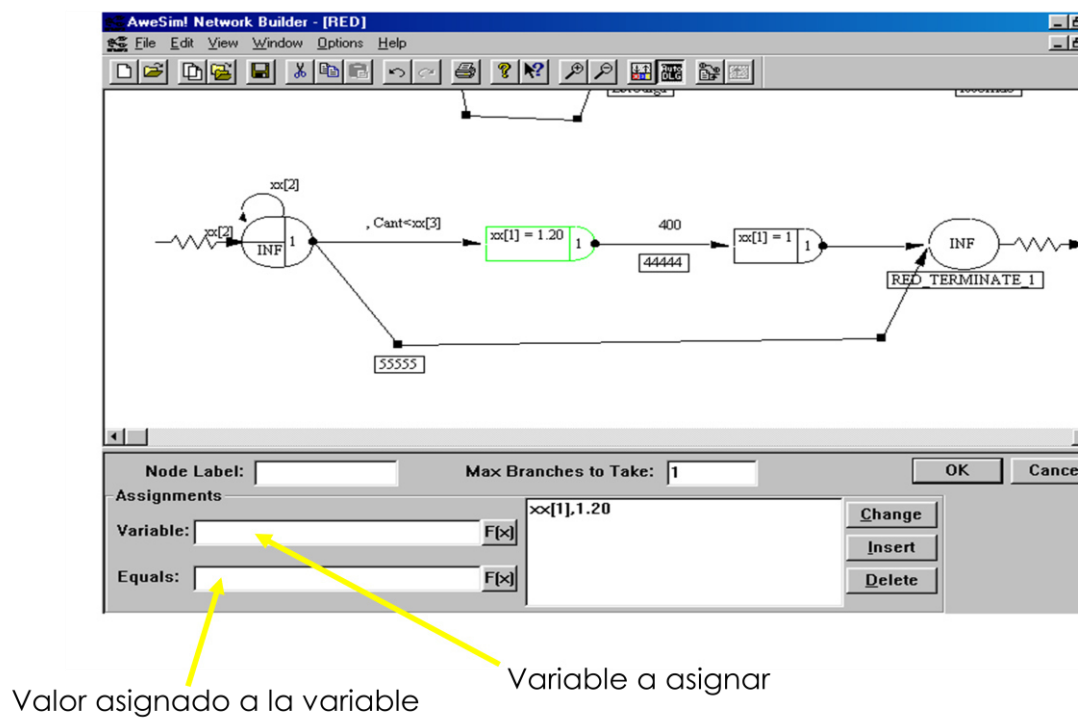


Fig. II.11

**II.4.4.6. RESOURCE.** Este bloque define una cantidad de Recursos existentes, que son solicitados o liberados por las entidades a traves de los nodos adecuados.

NRO	NOMBRE	CAP	IFL1	IFL2
-----	--------	-----	------	------

**NRO.:** es el número del recurso (opcional)

**NOMBRE:** es el nombre del recurso

**CAP:** capacidad inicial del recurso

**IFL1, IFL2, ...:** identificadores de archivos donde las entidades esperan por recursos

IFL1 > IFL2 > .... PRIORIDAD

### Ejemplo Nodo Resource

## RESOURCE

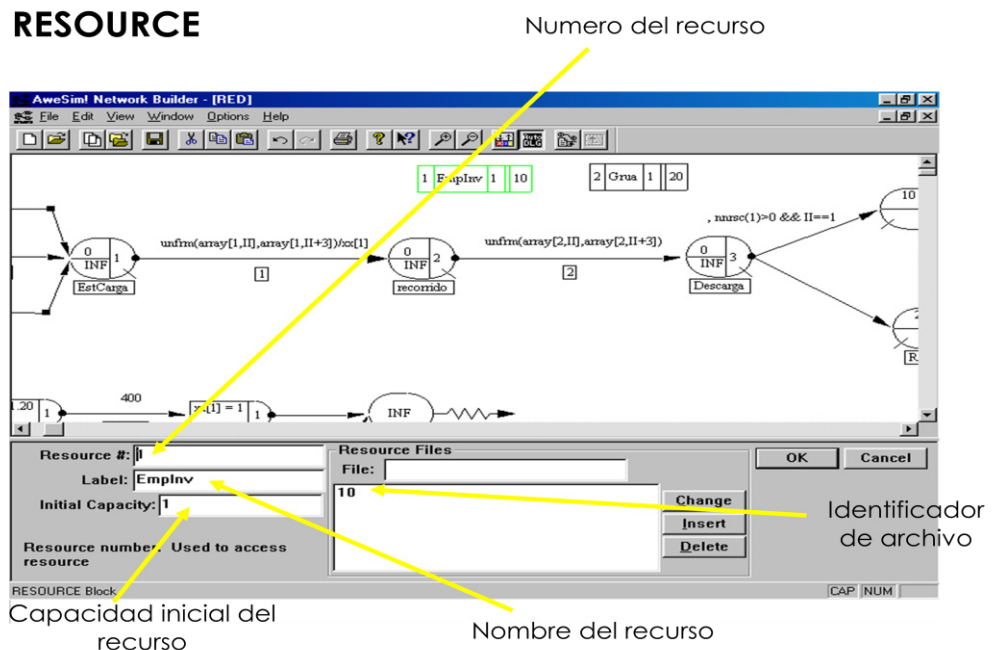


Fig. II.12

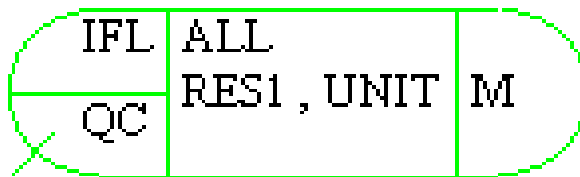
**II.4.4.7. Nodo AWAIT.** La entidad que cruza por este nodo:

Hace cola para solicitar el recurso.

Cuando le toca ser atendido, espera que un recurso este libre

Coge el recurso

Se lo lleva por la red.



**IFL:** Identificador del archivo donde las entidades esperan por el recurso

**QC:** Capacidad de la cola

-Balk

- Block

**ALL:** Si la cantidad que llega necesita de todos los recursos listados

**ONE:** Si la cantidad que llega necesita de alguno de ellos. Se puede guardar en una variable (Ltrib[I]), el número del recurso que se asigno a la entidad.

**RES1:** Identificador del recurso a asignar

**UNIT:** El nro. De unidades del recurso a asignar

## Ejemplo Nodo Await

### Nodo **AWAIT**

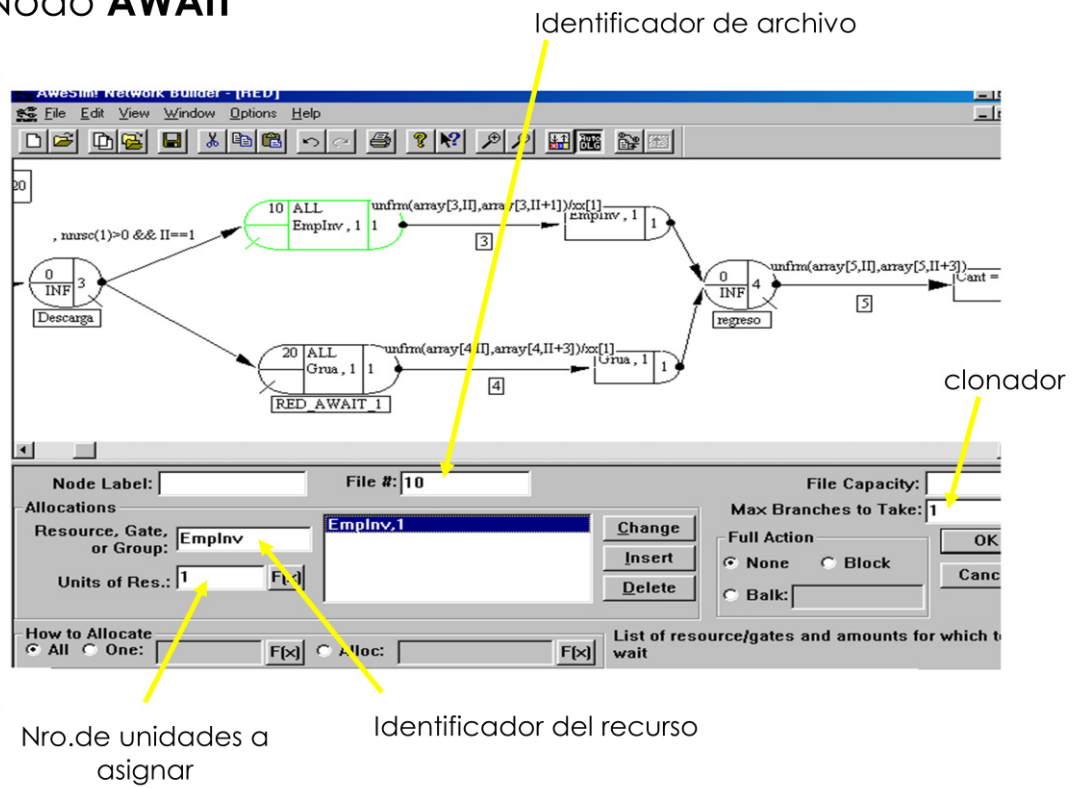
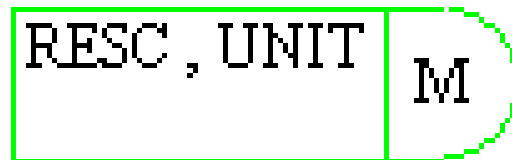


Fig. II.13

II.4.4.8. **Nodo FREE.** Libera el recurso.



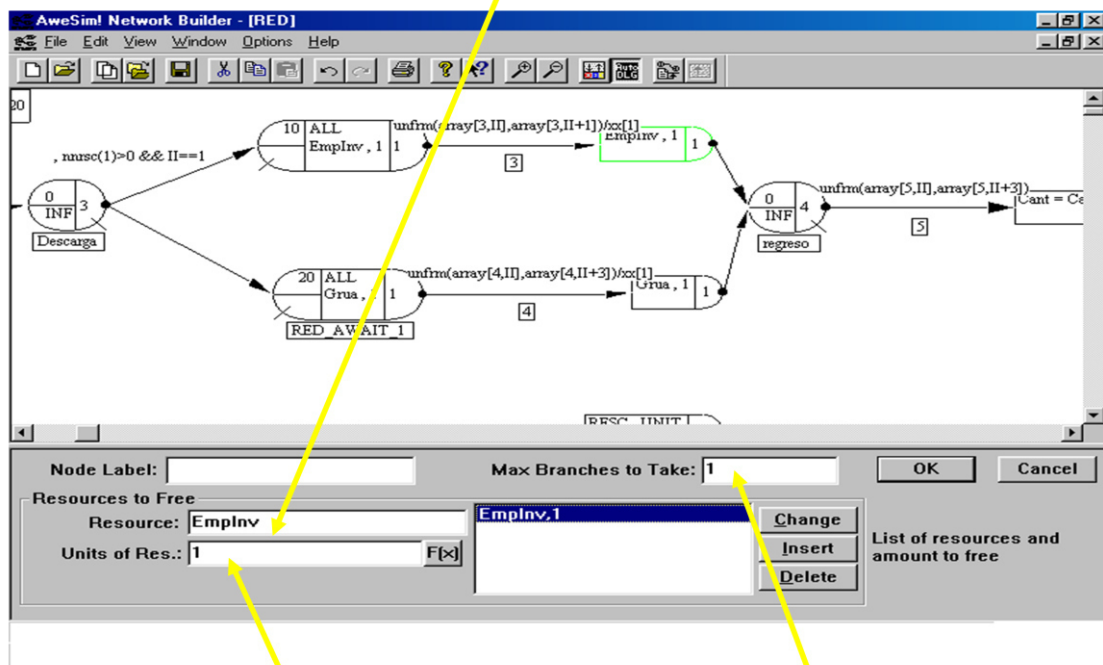
**RESC:** identificador del recurso a asignar

**UNIT:** nro. De unidades del recurso a asignar

### Ejemplo Nodo Free

Nodo **FREE**

Identificador del recurso a  
asignar



Nro.de unidades a  
asignar

clonador

Fig. II.14

## **CAPITULO III**

### **RECOLECCION, PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS**

#### **III.1.RECOPILACIÓN DE DATOS SOBRE LA LLEGADA DE LOS PACIENTES AL HOSPITAL.**

Se tomó información del sistema desde el lunes 13 de Julio 2009 hasta el domingo 19 de Julio 2009, llegando a la conclusión que es entre las 10 y 21 horas en que se generan los cuellos de botella la atención a los pacientes.

A continuación se muestra el tiempo entre arribos de los pacientes al Hospital de Emergencias Generales:

##### **1. Toma de datos:**

Los datos que se presentan a continuación se relacionan a la llegada de pacientes, esta muestra se tomó desde las 00:00:00 horas hasta las 23:59:50 horas:



## Tiempo entre llegadas de los Pacientes (en Segundos)

TIEMPO ENTRE LLEGADAS DE PACIENTES (EN SEGUNDOS)																			
N pa	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pa	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg
1	769	62	59	123	16	184	135	245	2	306	119	367	29	428	35	489	159	550	170
2	128	63	13	124	17	185	78	246	0	307	137	368	118	429	0	490	40	551	441
3	0	64	3	125	50	186	37	247	24	308	0	369	1	430	43	491	209	552	60
4	530	65	43	126	146	187	133	248	200	309	107	370	161	431	75	492	194	553	131
5	799	66	40	127	191	188	34	249	341	310	133	371	123	432	22	493	38	554	27
6	75	67	44	128	40	189	43	250	290	311	72	372	14	433	116	494	62	555	29
7	392	68	10	129	3	190	3	251	36	312	21	373	45	434	177	495	78	556	92
8	199	69	166	130	53	191	0	252	40	313	35	374	33	435	70	496	49	557	258
9	867	70	9	131	16	192	8	253	69	314	12	375	283	436	22	497	20	558	194
10	438	71	51	132	52	193	76	254	0	315	2	376	93	437	295	498	87	559	3
11	377	72	24	133	83	194	274	255	84	316	215	377	175	438	291	499	304	560	215
12	242	73	38	134	14	195	97	256	36	317	122	378	38	439	0	500	3	561	118
13	35	74	88	135	175	196	307	257	79	318	55	379	43	440	67	501	156	562	263
14	109	75	218	136	207	197	72	258	36	319	124	380	91	441	6	502	72	563	44
15	681	76	398	137	23	198	54	259	124	320	0	381	138	442	367	503	2	564	78
16	377	77	0	138	146	199	8	260	10	321	32	382	94	443	28	504	0	565	172
17	236	78	102	139	72	200	291	261	38	322	3	383	38	444	56	505	135	566	34
18	24	79	35	140	43	201	72	262	94	323	25	384	4	445	13	506	81	567	356
19	119	80	118	141	14	202	30	263	172	324	37	385	0	446	14	507	0	568	161
20	6	81	211	142	32	203	80	264	37	325	30	386	39	447	183	508	40	569	229
21	225	82	70	143	43	204	3	265	79	326	167	387	13	448	40	509	22	570	132
22	81	83	59	144	107	205	46	266	306	327	0	388	132	449	83	510	8	571	427
23	41	84	0	145	47	206	2	267	126	328	35	389	59	450	176	511	307	572	40
24	158	85	53	146	5	207	35	268	76	329	0	390	45	451	40	512	5	573	283
25	298	86	49	147	0	208	57	269	164	330	2	391	33	452	69	513	0	574	175
26	266	87	118	148	28	209	2	270	48	331	205	392	2	453	51	514	51	575	0
27	0	88	67	149	119	210	35	271	207	332	15	393	20	454	60	515	2	576	83
28	82	89	210	150	9	211	33	272	30	333	90	394	74	455	256	516	63	577	726
29	209	90	137	151	2	212	148	273	3	334	0	395	54	456	182	517	107	578	0
30	175	91	232	152	114	213	0	274	182	335	126	396	24	457	3	518	8	579	11
31	73	92	174	153	32	214	88	275	89	336	24	397	14	458	27	519	116	580	107
32	306	93	60	154	69	215	0	276	16	337	46	398	16	459	0	520	69	581	0
33	5	94	67	155	57	216	67	277	84	338	11	399	151	460	80	521	143	582	430
34	368	95	148	156	162	217	6	278	27	339	16	400	53	461	16	522	19	583	98
35	162	96	88	157	37	218	62	279	89	340	2	401	94	462	54	523	2	584	144
36	40	97	181	158	40	219	142	280	183	341	59	402	52	463	232	524	92	585	33
37	30	98	2	159	0	220	27	281	34	342	138	403	0	464	67	525	21	586	135
38	59	99	130	160	0	221	146	282	16	343	32	404	35	465	361	526	38	587	107
39	43	100	0	161	22	222	64	283	125	344	46	405	96	466	252	527	177	588	281
40	52	101	91	162	134	223	27	284	91	345	56	406	0	467	127	528	41	589	109
41	134	102	54	163	27	224	605	285	72	346	181	407	32	468	13	529	21	590	397
42	54	103	85	164	36	225	29	286	3	347	110	408	114	469	37	530	229	591	100
43	118	104	22	165	39	226	0	287	94	348	35	409	24	470	38	531	21	592	548
44	158	105	32	166	98	227	25	288	67	349	7	410	5	471	242	532	113	593	98
45	60	106	6	167	37	228	282	289	81	350	552	411	64	472	54	533	232	594	269
46	7	107	30	168	40	229	94	290	266	351	8	412	23	473	84	534	239	595	66
47	0	108	43	169	54	230	0	291	105	352	51	413	0	474	26	535	76	596	600
48	14	109	53	170	45	231	62	292	51	353	27	414	117	475	35	536	0	597	40
49	135	110	3	171	101	232	8	293	75	354	0	415	159	476	30	537	42	598	94
50	105	111	38	172	196	233	54	294	4	355	94	416	11	477	24	538	52	599	667
51	54	112	97	173	13	234	11	295	2	356	43	417	48	478	75	539	37	600	5
52	112	113	61	174	40	235	27	296	315	357	40	418	4	479	3	540	87	601	159
53	22	114	1	175	11	236	37	297	45	358	102	419	131	480	3	541	56	602	266
54	69	115	74	176	94	237	0	298	175	359	28	420	30	481	19	542	78	603	165
55	87	116	122	177	40	238	89	299	35	360	80	421	72	482	7	543	64	604	99
56	72	117	99	178	11	239	30	300	0	361	251	422	59	483	55	544	70	605	261
57	275	118	148	179	92	240	185	301	54	362	214	423	94	484	7	545	154	606	32
58	177	119	48	180	94	241	11	302	258	363	17	424	62	485	116	546	140	607	48
59	154	120	114	181	67	242	136	303	22	364	290	425	19	486	22	547	176	608	181
60	0	121	2	182	19	243	105	304	10	365	0	426	19	487	40	548	191	609	118
61	0	122	43	183	37	244	44	305	13	366	73	427	43	488	86	549	43	610	782

TABLA III.1

## 2. Tabulación de los datos:

### Datos

n	610
Max	867
Min	0

TABLA III.2

### Recorrido e Intervalos

Recorrido	867	Min-Max
Intervalos	10.28	10
Longitud Intervalo	86.7	Recorrido/Intervalos

TABLA III.3

### Intervalos de Clase

clase	Inf	Sup	fi	Fi
1	0.0	86.7	382	382
2	86.7	173.4	126	508
3	173.4	260.1	52	560
4	260.1	346.8	25	585
5	346.8	433.5	11	596
6	433.5	520.2	2	598
7	520.2	606.9	5	603
8	606.9	693.6	2	605
9	693.6	780.3	2	607
10	780.3	867.0	3	610

TABLA III.4

## 3. Grafica del Histograma:

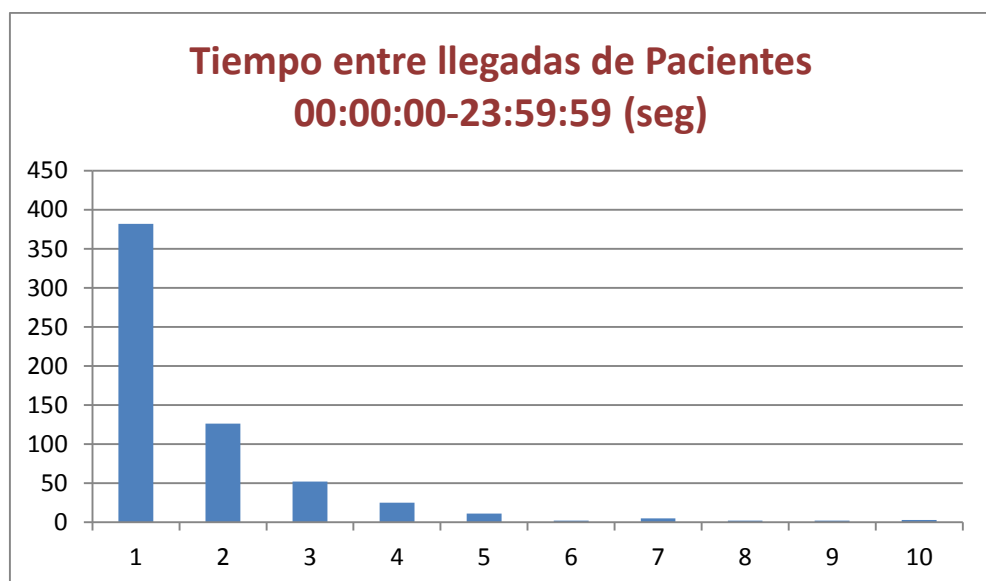


Gráfico III.1

Como podemos observar los datos obtenidos en este rango de tiempo (24 horas) son muy disperso, debido a que hay horas (como en la madrugada) que la afluencia de pacientes es mucho menor, es por ello que tomaremos un rango de tiempo menor, que detallamos a continuación:

#### **1. Toma de datos:**

La información que se presenta a continuación es la llegada de Pacientes que se tomó desde las 07:00:00 horas hasta las 20:00:00 horas:

## Tiempo entre llegadas de Pacientes (Segundos)

TIEMPO ENTRE LLEGADAS DE PACIENTES (EN SEGUNDOS)																			
N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg	N pac	H/leg
1	377	56	51	111	146	166	67	221	37	276	105	331	181	386	94	441	182	496	307
2	236	57	24	112	191	167	19	222	0	277	51	332	110	387	52	442	3	497	5
3	24	58	38	113	40	168	37	223	89	278	75	333	35	388	0	443	27	498	0
4	119	59	88	114	3	169	135	224	30	279	4	334	7	389	35	444	0	499	51
5	6	60	218	115	53	170	78	225	185	280	2	335	552	390	96	445	80	500	2
6	225	61	398	116	16	171	37	226	11	281	315	336	8	391	0	446	16	501	63
7	81	62	0	117	52	172	133	227	136	282	45	337	51	392	32	447	54	502	107
8	41	63	102	118	83	173	34	228	105	283	175	338	27	393	114	448	232	503	8
9	158	64	35	119	14	174	43	229	44	284	35	339	0	394	24	449	67	504	116
10	298	65	118	120	175	175	3	230	2	285	0	340	94	395	5	450	361	505	69
11	266	66	211	121	207	176	0	231	0	286	54	341	43	396	64	451	252	506	143
12	0	67	70	122	23	177	8	232	24	287	258	342	40	397	23	452	127	507	19
13	82	68	59	123	146	178	76	233	200	288	22	343	102	398	0	453	13	508	2
14	209	69	0	124	72	179	274	234	341	289	10	344	28	399	117	454	37	509	92
15	175	70	53	125	43	180	97	235	290	290	13	345	80	400	159	455	38	510	21
16	73	71	49	126	14	181	307	236	36	291	119	346	251	401	11	456	242	511	38
17	306	72	118	127	32	182	72	237	40	292	137	347	214	402	48	457	54	512	177
18	5	73	67	128	43	183	54	238	69	293	0	348	17	403	4	458	84	513	41
19	368	74	210	129	107	184	8	239	0	294	107	349	290	404	131	459	26	514	21
20	162	75	137	130	47	185	291	240	84	295	133	350	0	405	30	460	35	515	229
21	40	76	232	131	5	186	72	241	36	296	72	351	73	406	72	461	30	516	21
22	30	77	174	132	0	187	30	242	79	297	21	352	29	407	59	462	24	517	113
23	59	78	60	133	28	188	80	243	36	298	35	353	118	408	94	463	75	518	232
24	43	79	67	134	119	189	3	244	124	299	12	354	1	409	62	464	3	519	239
25	52	80	148	135	9	190	46	245	10	300	2	355	161	410	19	465	3	520	76
26	134	81	88	136	2	191	2	246	38	301	215	356	123	411	19	466	19	521	0
27	54	82	181	137	114	192	35	247	94	302	122	357	14	412	43	467	7	522	42
28	118	83	2	138	32	193	57	248	172	303	55	358	45	413	35	468	55	523	52
29	158	84	130	139	69	194	2	249	37	304	124	359	33	414	0	469	7	524	37
30	60	85	0	140	57	195	35	250	79	305	0	360	283	415	43	470	116	525	87
31	7	86	91	141	162	196	33	251	306	306	32	361	93	416	75	471	22	526	56
32	0	87	54	142	37	197	148	252	126	307	3	362	175	417	22	472	40	527	78
33	14	88	85	143	40	198	0	253	76	308	25	363	38	418	116	473	86	528	64
34	135	89	22	144	0	199	88	254	164	309	37	364	43	419	177	474	159	529	70
35	105	90	32	145	0	200	0	255	48	310	30	365	91	420	70	475	40	530	154
36	54	91	6	146	22	201	67	256	207	311	167	366	138	421	22	476	209	531	140
37	112	92	30	147	134	202	6	257	30	312	0	367	94	422	295	477	194	532	176
38	22	93	43	148	27	203	62	258	3	313	35	368	38	423	291	478	38	533	191
39	69	94	53	149	36	204	142	259	182	314	0	369	4	424	0	479	62	534	43
40	87	95	3	150	39	205	27	260	89	315	2	370	0	425	67	480	78	535	170
41	72	96	38	151	98	206	146	261	16	316	205	371	39	426	6	481	49	536	441
42	275	97	97	152	37	207	64	262	84	317	15	372	13	427	367	482	20	537	60
43	177	98	61	153	40	208	27	263	27	318	90	373	132	428	28	483	87	538	131
44	154	99	1	154	54	209	605	264	89	319	0	374	59	429	56	484	304	539	27
45	0	100	74	155	45	210	29	265	183	320	126	375	45	430	13	485	3	540	29
46	0	101	122	156	101	211	0	266	34	321	24	376	33	431	14	486	156	541	92
47	59	102	99	157	196	212	25	267	16	322	46	377	2	432	183	487	72	542	258
48	13	103	148	158	13	213	282	268	125	323	11	378	20	433	40	488	2	543	194
49	3	104	48	159	40	214	94	269	91	324	16	379	74	434	83	489	0	544	3
50	43	105	114	160	11	215	0	270	72	325	2	380	54	435	176	490	135	545	215
51	40	106	2	161	94	216	62	271	3	326	59	381	24	436	40	491	81		
52	44	107	43	162	40	217	8	272	94	327	138	382	14	437	69	492	0		

TABLA III.5

## 2. Tabulación de datos.

### Datos

n	545
min	0
Max	552

TABLA III.6

### Recorrido e Intervalos

Recorrido =	552	Min-Max
Intervalos =	10.11	10
Longitud Intervalo	55.2	Recorrido/Intervalos

TABLA III.7

### Intervalos de clase

clase	Inf	Sup	fi	Fi
1	0	55.2	288	288
2	55.2	110.4	117	405
3	110.4	165.6	62	467
4	165.6	220.8	38	505
5	220.8	276	17	522
6	276	331.2	14	536
7	331.2	386.4	5	541
8	386.4	441.6	2	543
9	441.6	496.8	0	543
10	496.8	552	1	544

TABLA III.8

### 3. Grafica del Histograma.

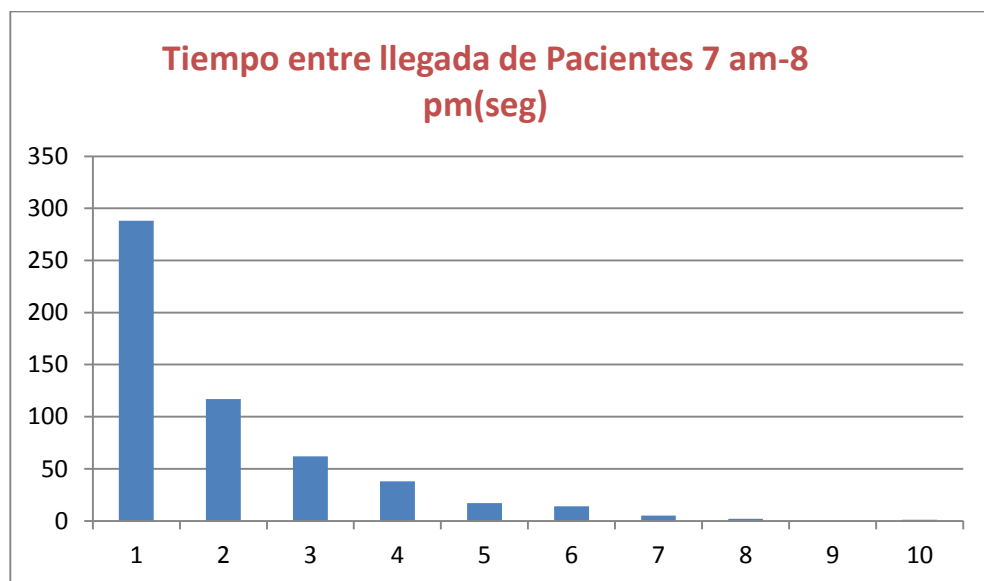


Gráfico III.2

Se puede apreciar según lo obtenido, que el comportamiento podría ser Exponencial.

4. Usaremos la prueba Chi-Cuadrado, para confirmar la suposición Distribución Exponencial.

Función Exponencial:

$$f(t) = \alpha e^{-\alpha t}$$

En este caso:

Promedio muestral:  $t = 79.2$

$\alpha = 1/t = 0.0126$

$$f(t) = 0.0126e^{-0.0126t}$$

$$F(t) = 1 - e^{-\alpha t}$$

$$\chi^2_{(teorico)} = \chi^2_{(0.05, k-m-1)} = \chi^2_{(0.05, 10-1-1)} = \chi^2_{(0.05, 8)} = 15.507$$

Como  $\chi^2_{(teorico)} > \chi^2_{(hallado)}$  entonces se acepta  $H_0$ , por lo tanto la data se ajusta a una distribución exponencial

Aplicando la hipótesis para comprobar:

$H_0$ : Los datos se ajustan a una distribución exponencial.

$H_1$ : Los datos no se ajustan a una distribución exponencial.

En conclusión, se puede afirmar que, estadísticamente los datos de los tiempos entre arribos se distribuyen exponencialmente a un nivel de significación del 5%. Los datos pertenecen a una distribución Exponencial con media (85.13).

Ahora clasificaremos los tiempos entre arribos de acuerdo a la prioridad del paciente (cómo se van distribuyendo en la cola de prioridades):

**a. Pacientes de Prioridad Vital.**

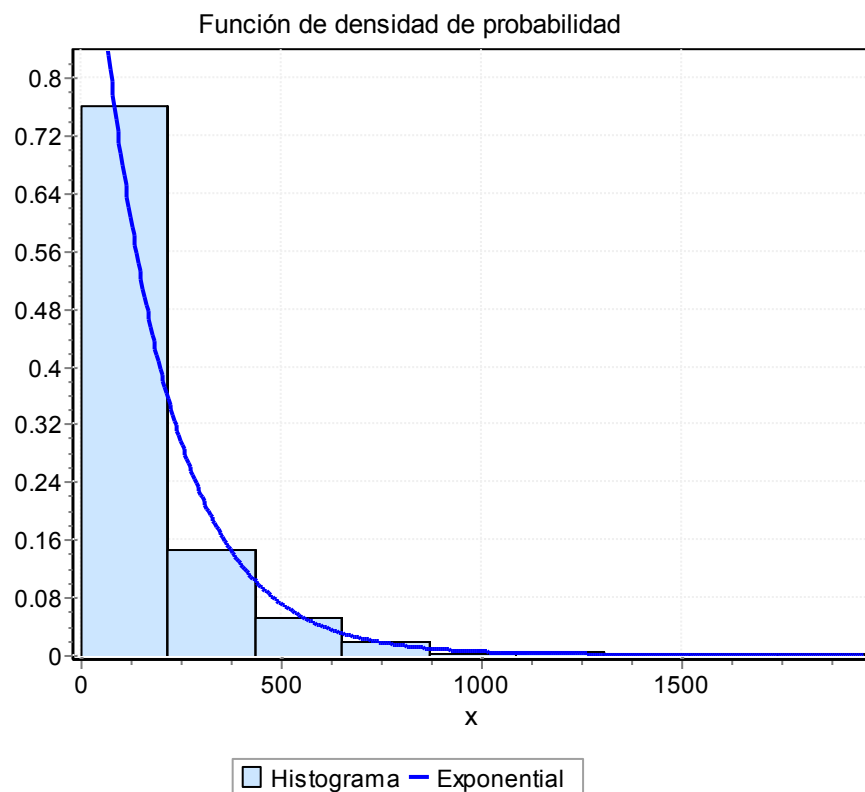


Gráfico III.3

Los datos de los tiempos entre arribos se distribuyen de forma exponencial con  $\gamma=0.00572$

**b. Pacientes de Prioridad Muy Grave.**

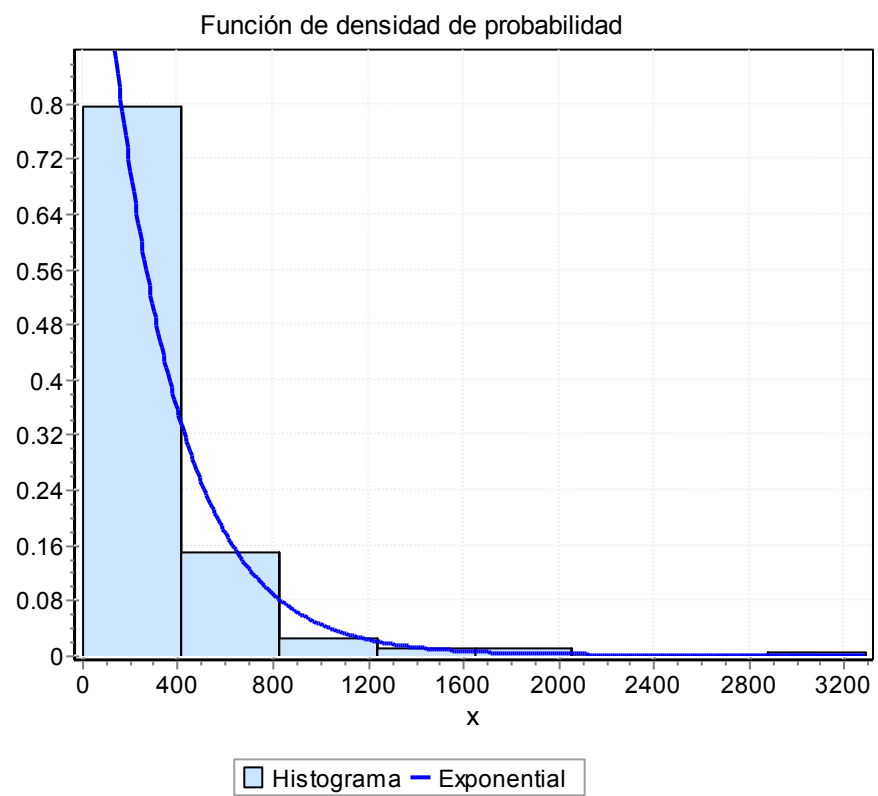


Gráfico III.4

Los datos de los tiempos entre arribos se distribuyen de forma exponencial con  $\gamma = 0.00346$



C. Pacientes de Prioridad Grave.

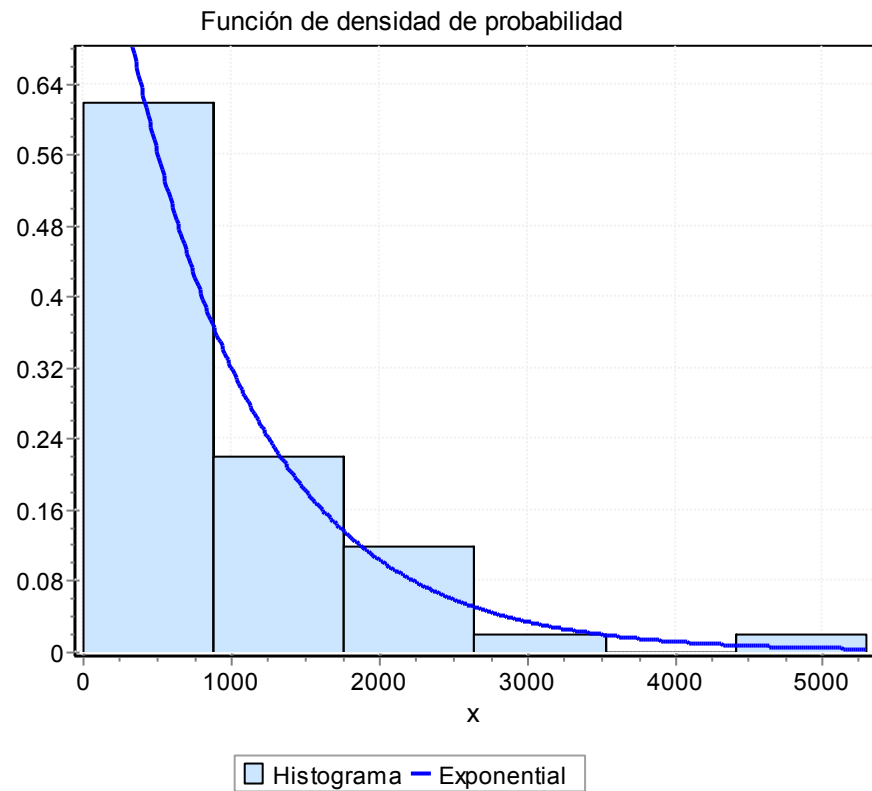


Gráfico III.5

Los datos de los tiempos entre arribos se distribuyen de forma exponencial con  $\gamma = 0.00113$

### III.2.RECOPILACIÓN DE DATOS SOBRE LOS TIEMPOS DE SERVICIO DE LOS PACIENTES.

#### III.2.1. De Acuerdo al Servicio donde es derivado finalmente.

Los pacientes con atendidos según prioridad y de acuerdo a los servicios a los cuales se derivan, los tiempos de servicio son los siguientes:

##### III.2.1.1. Pacientes derivados a Cuidados Críticos:

Hora In At	T Atención Seg	Especialidad	Prioridad
08:15:53	2568	1-Cuidados Críticos	Vital
10:19:25	792	1-Cuidados Críticos	Muy Grave
10:56:03	118	1-Cuidados Críticos	Vital
11:17:41	814	1-Cuidados Críticos	Vital
13:04:50	1067	1-Cuidados Críticos	Muy Grave
14:23:35	300	1-Cuidados Críticos	Muy Grave
14:28:40	442	1-Cuidados Críticos	Vital
14:31:05	180	1-Cuidados Críticos	Muy Grave
14:47:08	180	1-Cuidados Críticos	Vital
16:28:00	497	1-Cuidados Críticos	Vital
18:38:45	408	1-Cuidados Críticos	Vital
19:09:19	540	1-Cuidados Críticos	Vital
19:53:06	48	1-Cuidados Críticos	Vital
19:53:59	395	1-Cuidados Críticos	Vital

Tabla III.9

### VI.2.1.2. Pacientes derivados a Cirugía:

<b>Hora In At</b>	<b>T Atención Seg</b>	<b>Especialidad</b>	<b>Prioridad</b>
07:28:18	333	2-Cirugia	Muy Grave
08:49:28	587	2-Cirugia	Muy Grave
09:03:14	296	2-Cirugia	Vital
09:23:30	241	2-Cirugia	Vital
09:32:34	142	2-Cirugia	Muy Grave
09:39:11	764	2-Cirugia	Muy Grave
09:45:55	360	2-Cirugia	Muy Grave
09:57:22	313	2-Cirugia	Vital
<b>09:58:29</b>	113	2-Cirugia	Vital
10:00:39	530	2-Cirugia	Vital
10:03:47	651	2-Cirugia	Muy Grave
10:09:49	326	2-Cirugia	Muy Grave
10:31:26	340	2-Cirugia	Vital
10:37:11	601	2-Cirugia	Muy Grave
10:49:44	351	2-Cirugia	Vital
10:57:35	311	2-Cirugia	Muy Grave
10:58:06	453	2-Cirugia	Vital
11:07:06	391	2-Cirugia	Grave
11:19:43	329	2-Cirugia	Vital
11:20:00	451	2-Cirugia	Muy Grave
11:31:20	404	2-Cirugia	Vital
11:32:31	423	2-Cirugia	Vital
11:35:31	174	2-Cirugia	Vital
11:38:30	720	2-Cirugia	Muy Grave
11:41:29	360	2-Cirugia	Muy Grave
11:50:35	623	2-Cirugia	Muy Grave
12:47:21	188	2-Cirugia	Vital
12:52:51	330	2-Cirugia	Grave
12:58:45	360	2-Cirugia	Muy Grave
13:25:08	841	2-Cirugia	Vital
13:36:57	215	2-Cirugia	Muy Grave
13:42:29	532	2-Cirugia	Grave
13:43:32	411	2-Cirugia	Vital
13:51:26	425	2-Cirugia	Grave
13:58:36	148	2-Cirugia	Muy Grave
13:58:49	466	2-Cirugia	Vital
14:04:22	356	2-Cirugia	Vital
14:11:28	360	2-Cirugia	Muy Grave
14:53:05	520	2-Cirugia	Vital
14:55:12	128	2-Cirugia	Grave

14:56:02	678	2-Cirugia	Vital
14:57:57	207	2-Cirugia	Grave
15:21:40	396	2-Cirugia	Vital
15:28:21	881	2-Cirugia	Vital
15:38:32	174	2-Cirugia	Muy Grave
16:02:21	67	2-Cirugia	Vital
16:22:41	238	2-Cirugia	Muy Grave
16:31:29	360	2-Cirugia	Vital
16:33:05	582	2-Cirugia	Vital
16:46:52	406	2-Cirugia	Grave
16:48:00	488	2-Cirugia	Vital
16:50:00	432	2-Cirugia	Vital
16:56:22	239	2-Cirugia	Grave
16:58:12	360	2-Cirugia	Vital
17:00:16	557	2-Cirugia	Vital
17:05:31	438	2-Cirugia	Vital
17:10:38	332	2-Cirugia	Vital
17:11:37	240	2-Cirugia	Vital
17:23:38	275	2-Cirugia	Muy Grave
17:24:05	518	2-Cirugia	Vital
17:28:18	192	2-Cirugia	Muy Grave
17:35:41	527	2-Cirugia	Muy Grave
17:41:59	217	2-Cirugia	Vital
17:51:29	22	2-Cirugia	Vital
17:52:15	207	2-Cirugia	Vital
18:16:07	300	2-Cirugia	Grave
18:27:55	899	2-Cirugia	Vital
18:35:57	457	2-Cirugia	Vital
18:37:54	232	2-Cirugia	Muy Grave
18:39:05	157	2-Cirugia	Grave
18:41:51	598	2-Cirugia	Muy Grave
18:44:47	762	2-Cirugia	Muy Grave
18:50:44	854	2-Cirugia	Vital
18:59:21	360	2-Cirugia	Muy Grave
19:12:13	139	2-Cirugia	Muy Grave
19:15:40	105	2-Cirugia	Vital
19:17:30	236	2-Cirugia	Vital
19:18:35	180	2-Cirugia	Vital
19:21:31	239	2-Cirugia	Grave
19:40:37	517	2-Cirugia	Vital
19:48:12	220	2-Cirugia	Vital
19:55:50	194	2-Cirugia	Vital
20:21:26	552	2-Cirugia	Vital
20:37:39	240	2-Cirugia	Muy Grave
20:45:15	285	2-Cirugia	Muy Grave
20:50:51	673	2-Cirugia	Muy Grave
20:56:02	206	2-Cirugia	Vital
20:59:33	82	2-Cirugia	Vital
21:02:09	688	2-Cirugia	Muy Grave

21:43:25	249	2-Cirugia	Vital
21:44:56	178	2-Cirugia	Vital
22:01:23	223	2-Cirugia	Vital
22:17:55	136	2-Cirugia	Grave
22:23:11	180	2-Cirugia	Vital
22:38:57	180	2-Cirugia	Muy Grave
22:42:02	640	2-Cirugia	Grave
23:00:00	331	2-Cirugia	Muy Grave
21:04:43	367	2-Cirugia	Muy Grave

Tabla III.9

### III.2.1.3. Pacientes derivados a Medicina:

<b>Hora In At</b>	<b>T Atención Seg</b>	<b>Especialidad</b>	<b>Prioridad</b>
00:00:00	211	3-Medicina	Muy Grave
00:14:24	269	3-Medicina	Vital
00:18:58	157	3-Medicina	Vital
00:21:40	215	3-Medicina	Vital
04:47:49	180	3-Medicina	Vital
05:23:04	180	3-Medicina	Muy Grave
06:11:30	180	3-Medicina	Vital
06:45:05	180	3-Medicina	Vital
06:53:59	180	3-Medicina	Muy Grave
07:23:00	234	3-Medicina	Vital
07:26:59	74	3-Medicina	Muy Grave
07:33:56	91	3-Medicina	Vital
07:35:32	65	3-Medicina	Vital
07:36:42	227	3-Medicina	Vital
07:50:19	60	3-Medicina	Muy Grave
08:10:00	277	3-Medicina	Muy Grave
08:10:00	220	3-Medicina	Vital
08:13:45	267	3-Medicina	Vital
08:14:42	37	3-Medicina	Muy Grave
08:15:24	24	3-Medicina	Muy Grave
08:23:04	180	3-Medicina	Muy Grave
08:26:09	581	3-Medicina	Grave
08:31:36	68	3-Medicina	Vital
08:32:49	89	3-Medicina	Muy Grave
08:34:23	112	3-Medicina	Vital
08:35:55	73	3-Medicina	Vital
08:36:20	204	3-Medicina	Vital
08:37:33	113	3-Medicina	Vital
08:39:31	50	3-Medicina	Vital

08:39:49	60	3-Medicina	Muy Grave
08:42:13	50	3-Medicina	Vital
08:43:08	550	3-Medicina	Grave
08:53:35	60	3-Medicina	Muy Grave
08:58:46	166	3-Medicina	Vital
09:01:09	120	3-Medicina	Vital
09:01:37	19	3-Medicina	Vital
09:06:37	120	3-Medicina	Vital
09:08:15	174	3-Medicina	Muy Grave
09:19:17	84	3-Medicina	Vital
09:20:46	64	3-Medicina	Vital
09:21:52	93	3-Medicina	Vital
09:21:55	56	3-Medicina	Muy Grave
09:22:56	52	3-Medicina	Vital
09:23:53	230	3-Medicina	Muy Grave
09:27:36	208	3-Medicina	Vital
09:27:48	281	3-Medicina	Vital
09:31:09	76	3-Medicina	Vital
09:32:30	120	3-Medicina	Muy Grave
09:34:35	76	3-Medicina	Vital
09:35:01	65	3-Medicina	Muy Grave
09:35:56	96	3-Medicina	Muy Grave
09:36:11	308	3-Medicina	Muy Grave
09:37:37	82	3-Medicina	Muy Grave
09:39:04	280	3-Medicina	Muy Grave
09:41:24	344	3-Medicina	Muy Grave
09:43:49	97	3-Medicina	Vital
09:47:13	57	3-Medicina	Vital
09:52:00	36	3-Medicina	Vital
09:52:41	29	3-Medicina	Vital
09:53:15	124	3-Medicina	Vital
09:54:21	48	3-Medicina	Vital
09:54:26	171	3-Medicina	Vital
09:55:14	45	3-Medicina	Muy Grave
09:55:24	113	3-Medicina	Vital
09:56:04	270	3-Medicina	Vital
09:57:22	43	3-Medicina	Vital
09:58:10	14	3-Medicina	Muy Grave
10:00:27	150	3-Medicina	Muy Grave
10:02:40	104	3-Medicina	Muy Grave
10:03:02	40	3-Medicina	Muy Grave
10:04:29	87	3-Medicina	Grave
10:06:01	223	3-Medicina	Grave
10:10:19	120	3-Medicina	Muy Grave
10:12:24	278	3-Medicina	Muy Grave
10:14:43	39	3-Medicina	Vital
10:15:20	328	3-Medicina	Vital
10:15:27	233	3-Medicina	Muy Grave
10:17:07	107	3-Medicina	Muy Grave

10:18:59	93	3-Medicina	Vital
10:20:37	164	3-Medicina	Muy Grave
10:23:26	56	3-Medicina	Vital
10:24:27	82	3-Medicina	Vital
10:32:42	205	3-Medicina	Vital
10:32:49	145	3-Medicina	Vital
10:35:19	85	3-Medicina	Vital
10:39:06	60	3-Medicina	Vital
10:40:11	84	3-Medicina	Vital
10:47:17	82	3-Medicina	Vital
10:47:44	115	3-Medicina	Vital
10:48:44	59	3-Medicina	Vital
10:49:48	49	3-Medicina	Muy Grave
10:52:21	60	3-Medicina	Muy Grave
10:53:26	191	3-Medicina	Vital
10:55:40	31	3-Medicina	Muy Grave
10:56:16	46	3-Medicina	Vital
10:56:42	67	3-Medicina	Vital
10:57:07	23	3-Medicina	Vital
10:57:54	444	3-Medicina	Vital
11:02:51	24	3-Medicina	Vital
11:03:20	222	3-Medicina	Muy Grave
11:05:23	98	3-Medicina	Muy Grave
11:05:44	91	3-Medicina	Vital
11:07:07	192	3-Medicina	Vital
11:07:20	561	3-Medicina	Grave
11:10:24	144	3-Medicina	Vital
11:12:53	44	3-Medicina	Vital
11:13:42	304	3-Medicina	Muy Grave
11:16:46	82	3-Medicina	Vital
11:18:13	85	3-Medicina	Vital
11:18:51	205	3-Medicina	Vital
11:20:00	282	3-Medicina	Muy Grave
11:20:00	252	3-Medicina	Vital
11:22:21	210	3-Medicina	Vital
11:24:17	103	3-Medicina	Vital
11:24:47	47	3-Medicina	Muy Grave
11:25:17	134	3-Medicina	Vital
11:27:36	290	3-Medicina	Vital
11:28:53	180	3-Medicina	Muy Grave
11:31:27	120	3-Medicina	Vital
11:31:58	208	3-Medicina	Muy Grave
11:32:01	136	3-Medicina	Muy Grave
11:33:32	231	3-Medicina	Vital
11:34:22	244	3-Medicina	Muy Grave
11:37:28	51	3-Medicina	Vital
11:38:09	16	3-Medicina	Vital
11:38:24	212	3-Medicina	Vital
11:38:30	85	3-Medicina	Vital

11:39:39	96	3-Medicina	Vital
11:41:01	60	3-Medicina	Grave
11:42:01	131	3-Medicina	Vital
11:42:06	136	3-Medicina	Muy Grave
11:44:17	120	3-Medicina	Muy Grave
11:45:05	60	3-Medicina	Muy Grave
11:46:10	229	3-Medicina	Grave
11:46:22	113	3-Medicina	Vital
11:48:20	317	3-Medicina	Muy Grave
11:48:24	109	3-Medicina	Vital
11:50:04	55	3-Medicina	Vital
11:50:18	68	3-Medicina	Vital
11:51:04	146	3-Medicina	Muy Grave
11:52:42	120	3-Medicina	Grave
11:53:42	179	3-Medicina	Vital
11:54:22	60	3-Medicina	Vital
11:54:47	67	3-Medicina	Vital
11:55:59	205	3-Medicina	Muy Grave
11:56:41	60	3-Medicina	Vital
11:59:29	656	3-Medicina	Vital
12:00:27	60	3-Medicina	Vital
12:01:03	114	3-Medicina	Vital
12:01:32	57	3-Medicina	Muy Grave
12:06:49	110	3-Medicina	Vital
12:08:44	152	3-Medicina	Vital
12:10:30	210	3-Medicina	Muy Grave
12:11:11	64	3-Medicina	Vital
12:11:21	70	3-Medicina	Vital
12:12:20	70	3-Medicina	Vital
12:12:36	74	3-Medicina	Vital
12:13:55	172	3-Medicina	Vital
12:14:05	136	3-Medicina	Muy Grave
12:16:57	60	3-Medicina	Muy Grave
12:18:02	80	3-Medicina	Vital
12:19:27	99	3-Medicina	Grave
12:21:11	223	3-Medicina	Grave
12:24:59	49	3-Medicina	Vital
12:25:53	121	3-Medicina	Grave
12:27:59	90	3-Medicina	Vital
12:29:34	76	3-Medicina	Vital
12:30:55	98	3-Medicina	Vital
12:31:43	60	3-Medicina	Vital
12:32:38	103	3-Medicina	Muy Grave
12:32:48	108	3-Medicina	Muy Grave
12:38:07	180	3-Medicina	Vital
12:41:12	73	3-Medicina	Vital
12:41:18	180	3-Medicina	Vital
12:42:30	83	3-Medicina	Vital
12:43:58	102	3-Medicina	Vital



12:44:23	55	3-Medicina	Vital
12:45:23	113	3-Medicina	Vital
12:45:45	55	3-Medicina	Muy Grave
12:46:45	71	3-Medicina	Vital
12:48:01	88	3-Medicina	Vital
12:49:34	49	3-Medicina	Vital
12:50:28	60	3-Medicina	Muy Grave
12:51:33	73	3-Medicina	Muy Grave
12:54:43	120	3-Medicina	Vital
12:55:39	146	3-Medicina	Vital
12:58:10	225	3-Medicina	Grave
12:58:26	153	3-Medicina	Muy Grave
13:01:04	259	3-Medicina	Grave
13:02:33	180	3-Medicina	Grave
13:05:28	79	3-Medicina	Vital
13:05:38	607	3-Medicina	Grave
13:11:42	180	3-Medicina	Muy Grave
13:14:47	171	3-Medicina	Vital
13:15:50	53	3-Medicina	Vital
13:17:43	111	3-Medicina	Muy Grave
13:19:39	67	3-Medicina	Muy Grave
13:20:51	123	3-Medicina	Vital
13:21:43	200	3-Medicina	Vital
13:22:42	155	3-Medicina	Vital
13:22:59	523	3-Medicina	Vital
13:31:47	89	3-Medicina	Vital
13:33:21	96	3-Medicina	Vital
13:35:02	110	3-Medicina	Vital
13:35:38	469	3-Medicina	Muy Grave
13:39:14	97	3-Medicina	Muy Grave
13:40:37	107	3-Medicina	Grave
13:40:56	45	3-Medicina	Muy Grave
13:41:46	59	3-Medicina	Vital
13:48:25	61	3-Medicina	Vital
13:49:31	90	3-Medicina	Vital
13:50:28	269	3-Medicina	Vital
13:55:02	27	3-Medicina	Muy Grave
13:55:34	169	3-Medicina	Vital
13:58:28	16	3-Medicina	Vital
13:58:56	54	3-Medicina	Muy Grave
13:59:55	178	3-Medicina	Vital
14:01:09	135	3-Medicina	Muy Grave
14:02:58	79	3-Medicina	Grave
14:03:29	56	3-Medicina	Vital
14:09:33	60	3-Medicina	Vital
14:10:23	125	3-Medicina	Vital
14:12:33	97	3-Medicina	Muy Grave
14:14:15	65	3-Medicina	Grave
14:17:02	60	3-Medicina	Vital

14:17:08	180	3-Medicina	Vital
14:18:07	64	3-Medicina	Vital
14:18:26	78	3-Medicina	Muy Grave
14:20:13	106	3-Medicina	Muy Grave
14:24:24	120	3-Medicina	Vital
14:26:27	180	3-Medicina	Muy Grave
14:28:10	120	3-Medicina	Vital
14:28:52	237	3-Medicina	Vital
14:29:32	358	3-Medicina	Vital
14:32:54	165	3-Medicina	Vital
14:36:07	173	3-Medicina	Vital
14:39:05	110	3-Medicina	Vital
14:41:00	196	3-Medicina	Grave
14:43:59	180	3-Medicina	Grave
14:45:24	127	3-Medicina	Muy Grave
14:46:45	180	3-Medicina	Grave
14:47:01	65	3-Medicina	Vital
14:47:36	195	3-Medicina	Muy Grave
14:50:50	60	3-Medicina	Muy Grave
14:51:44	60	3-Medicina	Vital
14:56:52	60	3-Medicina	Muy Grave
14:57:44	180	3-Medicina	Muy Grave
14:58:58	60	3-Medicina	Vital
15:03:16	60	3-Medicina	Muy Grave
15:07:05	180	3-Medicina	Grave
15:07:07	180	3-Medicina	Vital
15:07:25	195	3-Medicina	Muy Grave
15:10:12	57	3-Medicina	Muy Grave
15:10:45	75	3-Medicina	Vital
15:13:57	180	3-Medicina	Vital
15:17:02	64	3-Medicina	Vital
15:17:49	226	3-Medicina	Vital
15:18:01	180	3-Medicina	Vital
15:18:11	793	3-Medicina	Muy Grave
15:21:06	88	3-Medicina	Muy Grave
15:21:35	129	3-Medicina	Muy Grave
15:22:39	74	3-Medicina	Muy Grave
15:23:49	216	3-Medicina	Vital
15:25:38	180	3-Medicina	Muy Grave
15:28:43	61	3-Medicina	Vital
15:29:49	133	3-Medicina	Muy Grave
15:31:29	76	3-Medicina	Vital
15:32:07	110	3-Medicina	Muy Grave
15:32:50	283	3-Medicina	Vital
15:34:02	197	3-Medicina	Vital
15:37:24	63	3-Medicina	Muy Grave
15:37:38	380	3-Medicina	Vital
15:40:32	180	3-Medicina	Vital
15:41:31	110	3-Medicina	Grave

15:43:26	73	3-Medicina	Muy Grave
15:44:03	123	3-Medicina	Vital
15:44:44	315	3-Medicina	Vital
15:46:11	225	3-Medicina	Muy Grave
15:51:03	60	3-Medicina	Vital
15:52:08	81	3-Medicina	Muy Grave
15:53:34	110	3-Medicina	Vital
15:54:12	120	3-Medicina	Muy Grave
15:55:29	148	3-Medicina	Vital
15:56:17	91	3-Medicina	Vital
15:57:53	146	3-Medicina	Muy Grave
15:58:02	147	3-Medicina	Vital
16:00:24	450	3-Medicina	Muy Grave
16:00:34	91	3-Medicina	Muy Grave
16:02:29	120	3-Medicina	Vital
16:04:34	132	3-Medicina	Muy Grave
16:07:05	60	3-Medicina	Muy Grave
16:11:21	180	3-Medicina	Vital
16:12:03	60	3-Medicina	Vital
16:13:08	78	3-Medicina	Vital
16:17:42	60	3-Medicina	Vital
16:18:47	115	3-Medicina	Vital
16:19:20	196	3-Medicina	Grave
16:20:47	73	3-Medicina	Vital
16:21:08	11	3-Medicina	Muy Grave
16:22:05	153	3-Medicina	Muy Grave
16:26:44	157	3-Medicina	Vital
16:31:12	120	3-Medicina	Vital
16:32:00	60	3-Medicina	Vital
16:33:17	54	3-Medicina	Vital
16:35:53	120	3-Medicina	Vital
16:37:58	149	3-Medicina	Grave
16:38:19	120	3-Medicina	Muy Grave
16:39:38	180	3-Medicina	Vital
16:42:11	120	3-Medicina	Muy Grave
16:42:52	781	3-Medicina	Vital
16:43:47	180	3-Medicina	Muy Grave
16:44:16	76	3-Medicina	Vital
16:44:47	120	3-Medicina	Muy Grave
16:45:37	59	3-Medicina	Vital
16:46:15	250	3-Medicina	Vital
16:46:41	59	3-Medicina	Vital
16:47:45	199	3-Medicina	Muy Grave
16:50:30	207	3-Medicina	Vital
16:51:09	148	3-Medicina	Vital
16:51:42	120	3-Medicina	Vital
16:53:42	108	3-Medicina	Vital
16:53:47	75	3-Medicina	Muy Grave
16:55:17	60	3-Medicina	Vital

16:55:58	238	3-Medicina	Vital
16:57:11	180	3-Medicina	Muy Grave
16:57:17	423	3-Medicina	Grave
16:58:11	180	3-Medicina	Muy Grave
17:00:26	253	3-Medicina	Vital
17:01:16	193	3-Medicina	Grave
17:01:45	180	3-Medicina	Vital
17:06:57	60	3-Medicina	Vital
17:08:02	97	3-Medicina	Muy Grave
17:09:38	177	3-Medicina	Grave
17:09:44	68	3-Medicina	Vital
17:12:40	224	3-Medicina	Vital
17:12:54	146	3-Medicina	Muy Grave
17:15:25	67	3-Medicina	Vital
17:15:42	129	3-Medicina	Vital
17:16:15	188	3-Medicina	Vital
17:16:29	80	3-Medicina	Muy Grave
17:16:37	220	3-Medicina	Vital
17:17:56	191	3-Medicina	Vital
17:19:28	104	3-Medicina	Vital
17:20:22	218	3-Medicina	Muy Grave
17:20:44	180	3-Medicina	Muy Grave
17:22:48	120	3-Medicina	Vital
17:26:30	180	3-Medicina	Vital
17:27:41	475	3-Medicina	Muy Grave
17:29:35	333	3-Medicina	Vital
17:32:48	70	3-Medicina	Muy Grave
17:38:41	100	3-Medicina	Grave
17:40:07	177	3-Medicina	Vital
17:40:26	292	3-Medicina	Muy Grave
17:44:33	166	3-Medicina	Vital
17:45:23	65	3-Medicina	Vital
17:45:28	60	3-Medicina	Vital
17:46:33	234	3-Medicina	Grave
17:49:07	180	3-Medicina	Vital
17:51:10	60	3-Medicina	Vital
17:54:13	120	3-Medicina	Vital
17:58:30	60	3-Medicina	Muy Grave
18:00:40	60	3-Medicina	Vital
18:04:05	360	3-Medicina	Vital
18:11:09	180	3-Medicina	Vital
18:11:18	284	3-Medicina	Muy Grave
18:14:14	127	3-Medicina	Muy Grave
18:14:53	180	3-Medicina	Vital
18:19:43	180	3-Medicina	Vital
18:21:12	192	3-Medicina	Vital
18:23:12	60	3-Medicina	Muy Grave
18:24:29	249	3-Medicina	Vital
18:24:50	180	3-Medicina	Muy Grave

18:28:57	180	3-Medicina	Vital
18:29:26	339	3-Medicina	Muy Grave
18:30:00	60	3-Medicina	Muy Grave
18:31:05	93	3-Medicina	Muy Grave
18:32:02	58	3-Medicina	Vital
18:32:43	89	3-Medicina	Vital
18:33:05	51	3-Medicina	Vital
18:34:01	111	3-Medicina	Vital
18:34:17	46	3-Medicina	Grave
18:36:00	180	3-Medicina	Vital
18:36:21	180	3-Medicina	Muy Grave
18:36:40	120	3-Medicina	Muy Grave
18:41:47	313	3-Medicina	Vital
18:42:59	103	3-Medicina	Muy Grave
18:48:50	180	3-Medicina	Muy Grave
18:51:55	210	3-Medicina	Grave
18:52:20	180	3-Medicina	Vital
18:52:31	60	3-Medicina	Vital
18:53:36	129	3-Medicina	Grave
19:05:03	216	3-Medicina	Vital
19:08:44	77	3-Medicina	Muy Grave
19:10:06	122	3-Medicina	Vital
19:13:55	60	3-Medicina	Vital
19:14:37	58	3-Medicina	Vital
19:15:00	64	3-Medicina	Vital
19:16:09	196	3-Medicina	Muy Grave
19:18:24	75	3-Medicina	Muy Grave
19:19:30	2	3-Medicina	Muy Grave
19:19:37	480	3-Medicina	Vital
19:23:27	180	3-Medicina	Vital
19:25:35	63	3-Medicina	Muy Grave
19:26:32	102	3-Medicina	Vital
19:26:43	81	3-Medicina	Muy Grave
19:27:42	131	3-Medicina	Vital
19:28:09	85	3-Medicina	Vital
19:29:58	51	3-Medicina	Muy Grave
19:30:54	650	3-Medicina	Muy Grave
19:34:55	180	3-Medicina	Muy Grave
19:34:55	180	3-Medicina	Vital
19:38:00	326	3-Medicina	Muy Grave
19:41:49	378	3-Medicina	Grave
19:45:58	180	3-Medicina	Vital
19:49:19	109	3-Medicina	Vital
19:50:45	226	3-Medicina	Muy Grave
19:51:13	108	3-Medicina	Vital
19:51:57	62	3-Medicina	Muy Grave
19:53:04	42	3-Medicina	Vital
19:53:51	88	3-Medicina	Vital
19:54:36	69	3-Medicina	Vital

19:59:05	180	3-Medicina	Vital
19:59:09	349	3-Medicina	Muy Grave
20:02:10	208	3-Medicina	Grave
20:03:51	60	3-Medicina	Vital
20:06:56	180	3-Medicina	Muy Grave
20:18:21	180	3-Medicina	Muy Grave
20:18:23	120	3-Medicina	Vital
20:20:28	127	3-Medicina	Muy Grave
20:21:55	180	3-Medicina	Muy Grave
20:22:40	251	3-Medicina	Vital
20:26:03	180	3-Medicina	Vital
20:27:01	120	3-Medicina	Vital
20:30:43	62	3-Medicina	Muy Grave
20:39:30	180	3-Medicina	Muy Grave
20:41:44	100	3-Medicina	Vital
20:42:35	155	3-Medicina	Muy Grave
20:44:19	387	3-Medicina	Muy Grave
20:49:00	120	3-Medicina	Vital
21:01:00	148	3-Medicina	Muy Grave
21:04:19	120	3-Medicina	Vital
21:14:15	180	3-Medicina	Vital
21:14:23	60	3-Medicina	Vital
21:31:06	180	3-Medicina	Vital
21:58:27	175	3-Medicina	Vital
22:07:34	180	3-Medicina	Vital
22:13:46	120	3-Medicina	Vital
22:15:33	180	3-Medicina	Vital
22:15:36	180	3-Medicina	Vital
22:15:51	119	3-Medicina	Vital
22:46:43	180	3-Medicina	Muy Grave
22:49:48	129	3-Medicina	Vital
22:52:47	145	3-Medicina	Vital
23:00:52	120	3-Medicina	Vital
23:02:57	70	3-Medicina	Vital
23:08:56	180	3-Medicina	Vital
23:12:01	160	3-Medicina	Vital
23:14:46	274	3-Medicina	Vital
23:19:25	229	3-Medicina	Vital
23:23:19	356	3-Medicina	Muy Grave
23:54:58	192	3-Medicina	Vital
14:16:13	102	3-Medicina	Muy Grave
17:04:27	59	3-Medicina	Vital
21:34:58	206	3-Medicina	Vital

Tabla III.10

### III.2.1.2. Pacientes derivados a Traumatología:

<b>Hora In At</b>	<b>T Atención Seg</b>	<b>Especialidad</b>	<b>Prioridad</b>
00:03:36	643	4-Traumatología	Grave
00:46:41	480	4-Traumatología	Vital
01:30:40	480	4-Traumatología	Vital
03:15:08	480	4-Traumatología	Muy Grave
08:40:54	509	4-Traumatología	Vital
08:54:40	592	4-Traumatología	Muy Grave
09:08:42	367	4-Traumatología	Muy Grave
09:11:14	633	4-Traumatología	Muy Grave
09:14:54	258	4-Traumatología	Muy Grave
09:31:06	480	4-Traumatología	Vital
09:45:31	530	4-Traumatología	Grave
09:48:15	361	4-Traumatología	Grave
10:20:53	218	4-Traumatología	Vital
10:24:36	405	4-Traumatología	Vital
10:25:54	410	4-Traumatología	Vital
10:36:49	245	4-Traumatología	Muy Grave
10:40:59	460	4-Traumatología	Vital
10:43:40	239	4-Traumatología	Vital
10:48:44	434	4-Traumatología	Muy Grave
11:13:42	234	4-Traumatología	Vital
11:25:56	360	4-Traumatología	Muy Grave
11:41:20	417	4-Traumatología	Vital
11:51:47	180	4-Traumatología	Muy Grave
11:54:52	471	4-Traumatología	Grave
11:56:46	598	4-Traumatología	Vital
12:08:06	180	4-Traumatología	Vital
12:16:26	718	4-Traumatología	Muy Grave
12:50:34	300	4-Traumatología	Vital
13:16:48	290	4-Traumatología	Muy Grave
13:25:22	611	4-Traumatología	Muy Grave
13:42:50	330	4-Traumatología	Grave
13:51:06	465	4-Traumatología	Muy Grave
14:04:30	831	4-Traumatología	Grave
14:15:25	404	4-Traumatología	Vital
14:22:14	393	4-Traumatología	Muy Grave
14:30:15	904	4-Traumatología	Vital
14:35:35	681	4-Traumatología	Grave
14:47:04	483	4-Traumatología	Muy Grave
14:48:11	289	4-Traumatología	Vital
14:50:56	301	4-Traumatología	Vital

15:00:03	665	4-Traumatologia	Grave
15:10:10	454	4-Traumatologia	Vital
15:11:13	617	4-Traumatologia	Grave
15:27:30	482	4-Traumatologia	Vital
16:14:26	289	4-Traumatologia	Vital
16:38:10	480	4-Traumatologia	Vital
17:04:34	299	4-Traumatologia	Muy Grave
17:04:44	124	4-Traumatologia	Vital
17:06:53	220	4-Traumatologia	Muy Grave
17:21:17	136	4-Traumatologia	Grave
17:24:53	393	4-Traumatologia	Muy Grave
17:31:31	166	4-Traumatologia	Muy Grave
17:31:35	277	4-Traumatologia	Muy Grave
17:34:03	359	4-Traumatologia	Muy Grave
17:34:22	452	4-Traumatologia	Grave
17:35:13	203	4-Traumatologia	Muy Grave
17:36:17	298	4-Traumatologia	Grave
17:43:09	887	4-Traumatologia	Muy Grave
18:01:45	568	4-Traumatologia	Vital
18:10:19	480	4-Traumatologia	Muy Grave
18:24:17	304	4-Traumatologia	Muy Grave
18:39:26	673	4-Traumatologia	Muy Grave
18:45:38	197	4-Traumatologia	Grave
19:19:44	779	4-Traumatologia	Muy Grave
19:29:39	653	4-Traumatologia	Muy Grave
19:49:03	663	4-Traumatologia	Muy Grave
20:05:03	421	4-Traumatologia	Vital
20:26:56	521	4-Traumatologia	Vital
20:29:06	430	4-Traumatologia	Vital
20:36:21	230	4-Traumatologia	Vital
20:40:16	238	4-Traumatologia	Vital
20:50:05	257	4-Traumatologia	Vital
20:51:05	292	4-Traumatologia	Grave
20:54:27	326	4-Traumatologia	Muy Grave
21:35:24	180	4-Traumatologia	Vital
21:36:22	509	4-Traumatologia	Grave
21:38:29	291	4-Traumatologia	Muy Grave
21:42:17	120	4-Traumatologia	Muy Grave
21:48:26	240	4-Traumatologia	Vital
21:56:14	480	4-Traumatologia	Grave
23:29:20	267	4-Traumatologia	Vital
23:33:52	194	4-Traumatologia	Vital
23:37:11	295	4-Traumatologia	Vital
23:42:11	483	4-Traumatologia	Vital
23:50:19	274	4-Traumatologia	Vital

Tabla III.11



**III.2.2. De Acuerdo a la atención del Servidor.**

**Tabla del Número de atenciones por servidor de Marzo a  
Agosto 2009**

<b>N</b>	<b>Servidor</b>	<b>Horario</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>total</b>
1	Servidor 1	7 am-2pm	2587	2084	2244	2311	4517	2593	16337
2	Servidor 2	8 am-3pm	1796	1745	1936	2361	4779	2418	15035
3	Servidor 3	9 am-4pm	2299	2013	2507	2648	4985	2812	17264
4	Servidor 4	11 am-6pm	2641	407	1931	2650	4062	1816	13507
5	Servidor 5	11 am-6pm	2308	1877	2546	2106	5234	3008	17079
6	Servidor 6	11 am-6pm	1674	1542	1543	1678	3327	1873	11637
7	Servidor 7	11 am-6pm	1943	1731	2126	1658	3411	2433	13302
8	Servidor 8	4pm-11pm	2025	1894	1884	1576	3638	2009	13026
9	Servidor 9	4pm-11pm	2084	1758	1896	2005	3750	2378	13871
10	Servidor 10	4pm-11pm	2463	1859	1759	1974	3570	2102	13727
11	Servidor 11	4pm-11pm	2568	1794	0	2109	3850	1622	11943

Tabla III.12

De acuerdo a la tabla III.12, tenemos la información de la atención de cada paciente según el especialista que lo atiende, de los seis meses analizados en nuestro caso, obteniendo así distribución del tiempo de atención de cada urgenciólogo:

**Distribución de los tiempos de Atención por Servidor**

<b>N</b>	<b>Urgenciólogo</b>	<b>Horario</b>	<b>Distribución Exponencial</b>
1	Servidor 1	7 am-2pm	Exp(0.0771)
2	Servidor 2	8 am-3pm	Exp(0.0838)
3	Servidor 3	9 am-4pm	Exp(0.0730)
4	Servidor 4	11 am-6pm	Exp(0.0933)
5	Servidor 5	11 am-6pm	Exp(0.0738)
6	Servidor 6	11 am-6pm	Exp(0.1083)
7	Servidor 7	11 am-6pm	Exp(0.0947)
8	Servidor 8	4pm-11pm	Exp(0.0967)
9	Servidor 9	4pm-11pm	Exp(0.0908)
10	Servidor 10	4pm-11pm	Exp(0.0918)
11	Servidor 11	4pm-11pm	Exp(0.1055)

Tabla III.13

## IV

### IMPLEMENTACION DEL MODELO

Tenemos el sistema de atención de pacientes, el cual definimos de la siguiente manera:

#### **Objeto.**

- Atender a los pacientes con prioridad de urgencia.

#### **Objetivo.**

- Simular el sistema de atención de pacientes en el "Hospital de Emergencias Generales" identificando los cuellos de botella.
- Atender a los pacientes con prioridad de urgencia y evitar excesivos tiempos de espera.

#### **Ambiente.**

- Hospital de Emergencias Generales

#### **Frontera.**

- Sala de Recepción de Urgencias.

#### **Entrada.**

- Pacientes en estado de emergencia.
- Urgenciólogos del Hospital de Emergencias Generales.

## Salida.

- Pacientes ya estabilizados que se dirigen a una de las cuatro especialidades.

## Realimentación.

- Analizar un paciente y verificar cuanto tiempo espera para ser atendido según su prioridad.

### IV.1. MODELO Y REPORTES AWESIM.

El diseño inicial del Modelo es el Siguiente:

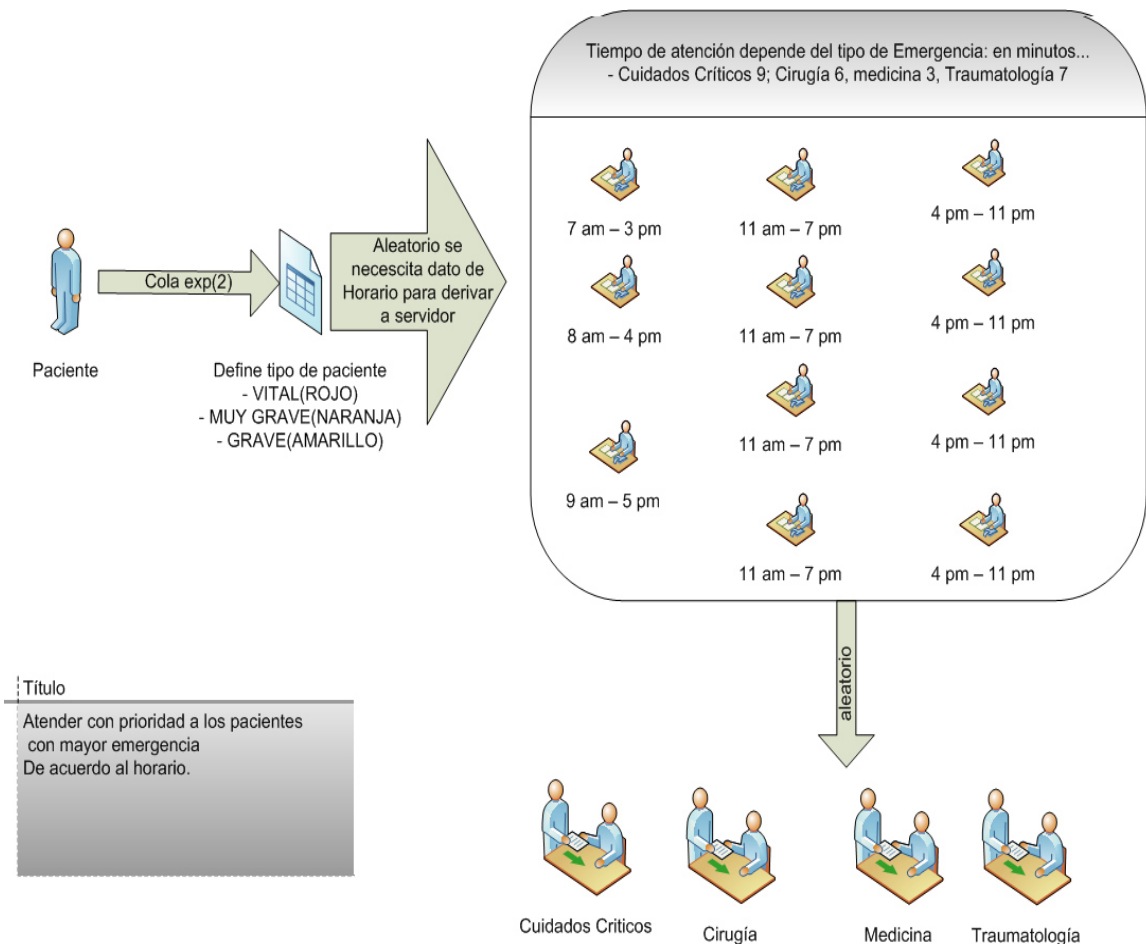


Fig. IV.1

Se construye el modelo en el programa AweSim:

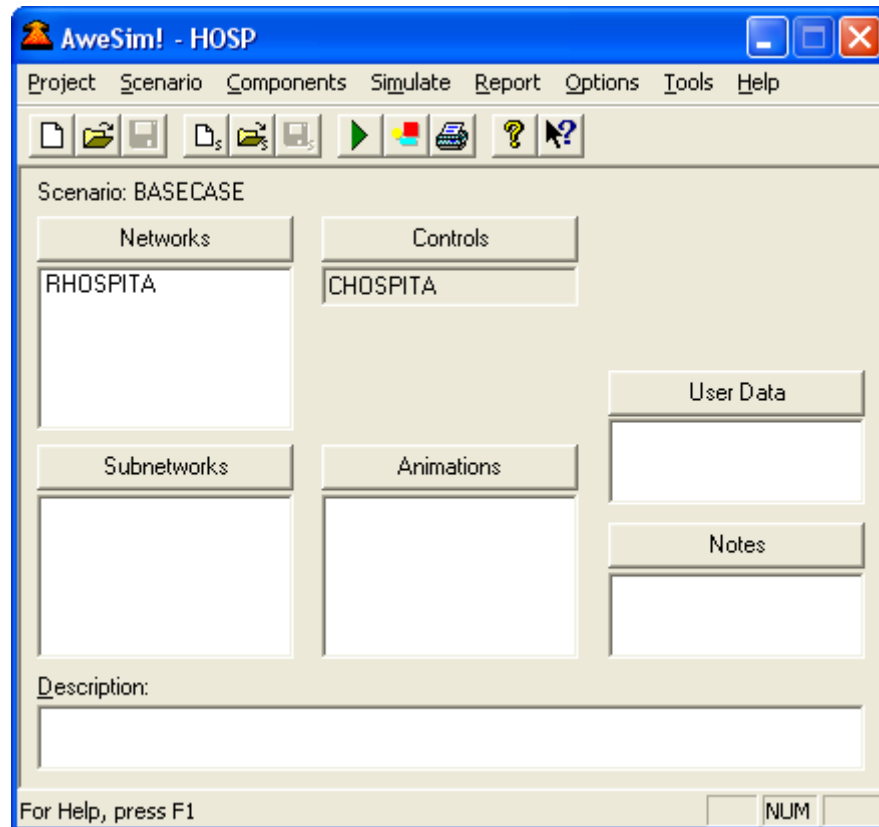


Fig. IV.2

Para ello, introducimos los resultados obtenidos en cuanto a los tiempos entre arribos por prioridad y los tiempos de servicio, así como los 11 especialistas en Emergencias, generando así la siguiente Red:

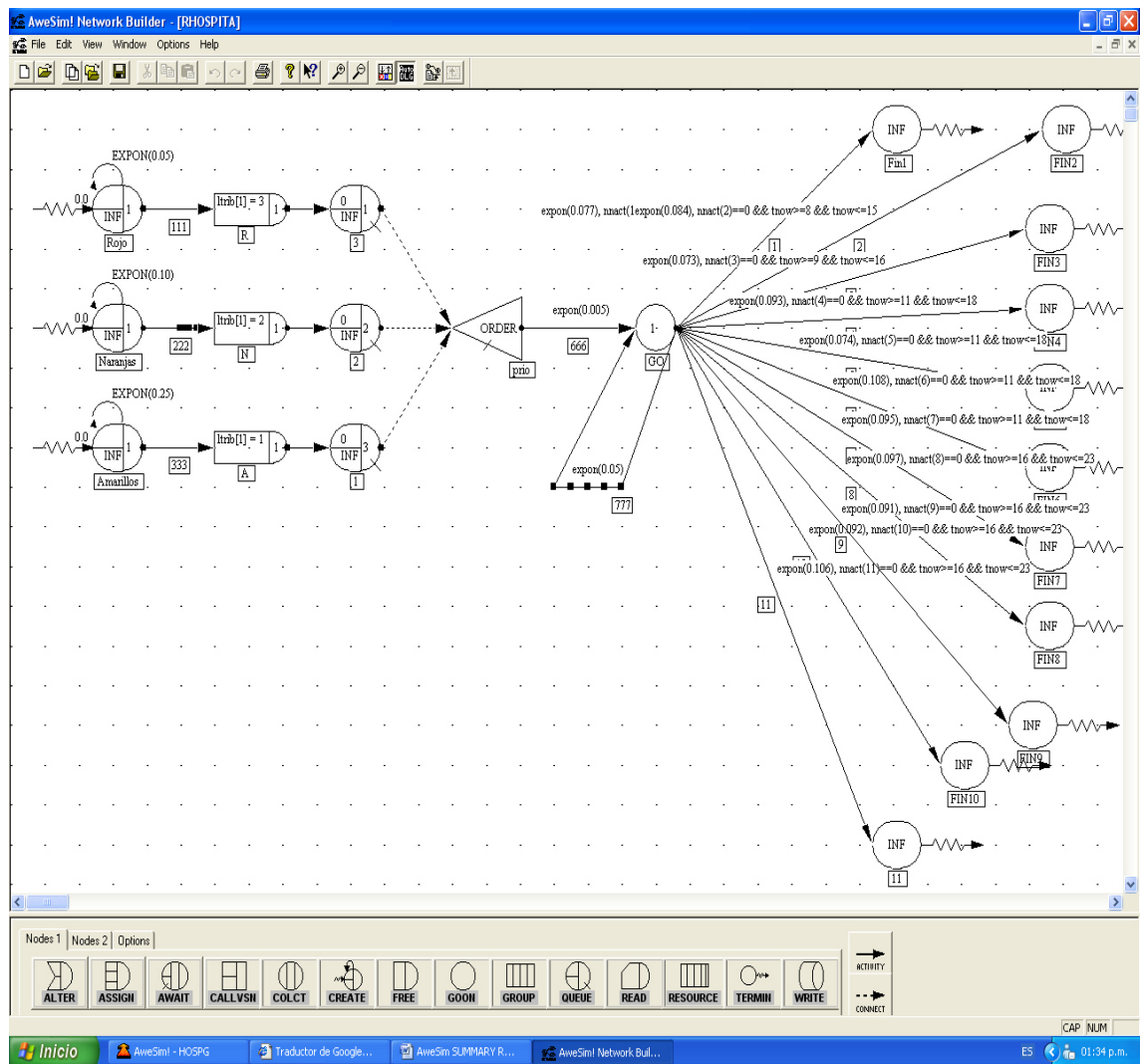


Fig. IV.3

Se tiene la siguiente programación en AweSim:

Reading control CHOSPITA...

```

1 GEN,"Hospital de Emergencias Generales",,, 1, YES,YES;
2 LIMITS,,,,,3;
3 NETWORK, READ;
4 INITIALIZE,0,24,YES,,NO;
5 FIN;

```

CHOSPITA successfully read

Translated file BASECASE successfully written

Reading network RHOSPITA - Pass 1...

RHOSPITA - Pass 1 successfully read

Reading network RHOSPITA - Pass 2...

RHOSPITA - Pass 2 successfully read

Reading network RHOSPITA - Pass 3...

```
1 Rojo: CREATE,EXPON(0.05),0.0,,INF,1;
2 ACTIVITY,111,,,,,"EntraronRojos";
3 R: ASSIGN,{{ltrib[1],3}},1;
4 ACTIVITY;
5 3: QUEUE,1,0,INF,NONE,{prio};
7 prio: SELECT,ORDER,NONE,NONE,{3,2,1};
8 ACTIVITY,666,expon(0.005);
9 GO: GOON,1;
10 ACTIVITY,1,expon(0.077),nnact(1)==0 && tnow>=7 &&
tnow<=14,"FIN1",,"Server1";
11 ACTIVITY,2,expon(0.084),nnact(2)==0 && tnow>=8 &&
tnow<=15,"FIN2",,"Server2";
12 ACTIVITY,3,expon(0.073),nnact(3)==0 && tnow>=9 &&
tnow<=16,"FIN3",,"Server3";
13 ACTIVITY,4,expon(0.093),nnact(4)==0 && tnow>=11 &&
tnow<=18,"FIN4",,"Server4";
14 ACTIVITY,5,expon(0.074),nnact(5)==0 && tnow>=11 &&
tnow<=18,"FIN5",,"Server5";
15 ACTIVITY,6,expon(0.108),nnact(6)==0 && tnow>=11 &&
tnow<=18,"FIN6",,"Server6";
```

```

16 ACTIVITY,7,expon(0.095),nnact(7)==0 && tnow>=11 &&
tnow<=18,"FIN7",,"Server7";
17 ACTIVITY,8,expon(0.097),nnact(8)==0 && tnow>=16 &&
tnow<=23,"FIN8",,"Server8";
18 ACTIVITY,9,expon(0.091),nnact(9)==0 && tnow>=16 &&
tnow<=23,"FIN9",,"Server9";
19 ACTIVITY,10,expon(0.092),nnact(10)==0 && tnow>=16 &&
tnow<=23,"FIN10",,"Server10";
20 ACTIVITY,11,expon(0.106),nnact(11)==0 && tnow>=16 &&
tnow<=23,"11",,"Server11";
21 ACTIVITY,777,expon(0.05),,"GO";
22 Fin1: TERMINATE,INF;
23 FIN2: TERMINATE,INF;
24 FIN3: TERMINATE,INF;
25 FIN4: TERMINATE,INF;
26 FIN5: TERMINATE,INF;
27 FIN6: TERMINATE,INF;
28 FIN7: TERMINATE,INF;
29 FIN8: TERMINATE,INF;
30 FIN9: TERMINATE,INF;
31 FIN10: TERMINATE,INF;
32 11: TERMINATE,INF;
33 Naranjas: CREATE,EXPON(0.10),0.0,,INF,1;
34 ACTIVITY,222,,,,,"EntraronNar";
35 N: ASSIGN,{{ltrib[1],2}},1;
36 ACTIVITY;
37 2: QUEUE,2,0,INF,NONE,{prio};
39 Amarillos: CREATE,EXPON(0.25),0.0,,INF,1;
40 ACTIVITY,333,,,,,"EntraronAm";
41 A: ASSIGN,{{ltrib[1],1}},1;
42 ACTIVITY;
43 1: QUEUE,3,0,INF,NONE,{prio};

```

RHOSPITA - Pass 3 successfully read

Translated network file BASECASE.TRN successfully written



#### IV.1.1. Resultados del Sistema Actual.

Se realizaron tres corridas y se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla de resultados del Sistema Actual por Prioridad**

<b>N</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Número de pacientes que llegan al Hospital</b>	<b>Tiempo Medio de espera en la cola</b>	<b>Tamaño Máximo de la Cola</b>
1	Vital (Rojo)	491	0.005	2
2	Muy Grave (Naranja)	240	0.007	2
3	Grave (Amarillo)	113	0.023	3
	TOTAL	844		

Tabla IV.1

**Tabla de Resultados del Sistema Actual por Servidor**

<b>N</b>	<b>Urgenciólogo</b>	<b>Horario</b>	<b>Utilización Media</b>	<b>Número de Pacientes atendidos</b>
1	Servidor 1	7 am-2pm	0.297	97
2	Servidor 2	8 am-3pm	0.294	78
3	Servidor 3	9 am-4pm	0.292	89
4	Servidor 4	11 am-6pm	0.304	74
5	Servidor 5	11 am-6pm	0.281	79
6	Servidor 6	11 am-6pm	0.273	69
7	Servidor 7	11 am-6pm	0.263	72
8	Servidor 8	4pm-11pm	0.251	75
9	Servidor 9	4pm-11pm	0.235	68
10	Servidor 10	4pm-11pm	0.238	62
11	Servidor 11	4pm-11pm	0.232	44
			TOTAL	807

Tabla IV.2

Los Pacientes con límite de tiempo de espera son derivados al Hospital más cercano.

- Pacientes no atendidos Sistema Actual: **844-807=37**

Ahora se implementara tres Políticas, con la finalidad de realizar mejoras en el sistema actual y ellas son las siguientes:

**Política 1.** Consiste en cambios de horarios de los urgenciólogos como se describe en la tabla IV.4, ello con la finalidad de realizar una redistribución de acuerdo a las horas con mayor afluencia de pacientes y de mayor emergencia.

**Política 2.** Se contará con los 10 urgenciólogos de mayores atenciones y de mayor calidad, ya que uno de ellos podría estar retrasando el proceso de atención.

**Política 3.** Se incorpora un Urgenciólogo en un horario crítico de atención, ello para cubrir la demanda de los pacientes con mayor prioridad y evitar tengan que ser trasladados a otros hospitales.

**IV.1.2. Resultados Nueva Política 1 (Cambios de horarios de los urgenciólogos):**

**Tabla de resultados de la Política 1 según prioridad**

<b>N</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Número de pacientes que llegan al Hospital</b>	<b>Tiempo Medio de espera en la cola</b>	<b>Tamaño Máximo de la Cola</b>
1	Vital (Rojo)	459	0.002	1
2	Muy Grave (Naranja)	217	0.010	2
3	Grave (Amarillo)	102	0.017	3
	TOTAL	778		

Tabla IV.3

**Tabla de resultados de la Política 1 según Urgenciólogo**

<b>N</b>	<b>Urgenciólogo</b>	<b>Horario</b>	<b>Utilización Media</b>	<b>Número de Pacientes atendidos</b>
1	Servidor 1	7 am-2pm	0.297	85
2	Servidor 2	8 am-3pm	0.296	86
3	Servidor 3	9 am-4pm	0.291	95
4	Servidor 4	10 am-5pm	0.287	68
5	Servidor 5	11 am-6pm	0.273	99
6	Servidor 6	11 am-6pm	0.284	59
7	Servidor 7	12 am-7pm	0.258	60
8	Servidor 8	2pm-9pm	0.232	60
9	Servidor 9	4pm-11pm	0.202	53
10	Servidor 10	4pm-11pm	0.186	48
11	Servidor 11	4pm-11pm	0.167	37
			TOTAL	750

Tabla IV.4

- Pacientes no atendidos Política 1: 778-750=**28**

**IV.1.3. Resultados Nueva Política 2 (Solo se cuentan con los 10 urgenciólogos):**

**Tabla de resultados de la Política 2 según prioridad**

<b>N</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Número de pacientes que llegan al Hospital</b>	<b>Tiempo Medio de espera en la cola</b>	<b>Tamaño Máximo de la Cola</b>
1	Vital (Rojo)	439	0.003	1
2	Muy Grave (Naranja)	222	0.008	2
3	Grave (Amarillo)	103	0.015	3
	TOTAL	764		

Tabla IV.5

**Tabla de resultados de la Política 2 según Urgenciólogo**

<b>N</b>	<b>Urgenciólogo</b>	<b>Horario</b>	<b>Utilización Media</b>	<b>Número de Pacientes atendidos</b>
1	Servidor 1	7 am-2pm	0.297	85
2	Servidor 2	8 am-3pm	0.296	86
3	Servidor 3	9 am-4pm	0.291	95
4	Servidor 4	11 am-6pm	0.289	69
5	Servidor 5	11 am-6pm	0.285	89
6	Servidor 6	11 am-6pm	0.285	56
7	Servidor 7	11 am-6pm	0.253	61
8	Servidor 8	4pm-11pm	0.253	63
9	Servidor 9	4pm-11pm	0.217	57
10	Servidor 10	4pm-11pm	0.200	44
			TOTAL	705

Tabla IV.6

- Pacientes no atendidos Política 2: 764-705=59

**IV.1.4. Resultados Nueva Política 3 (Se incorpora un Urgenciólogo en un horario critico):**

**Tabla de resultados de la Política 3 según prioridad**

<b>N</b>	<b>Prioridad</b>	<b>Número de pacientes que llegan al Hospital</b>	<b>Tiempo Medio de espera en la cola</b>	<b>Tamaño Máximo de la Cola</b>
1	Vital (Rojo)	484	0.003	1
2	Muy Grave (Naranja)	217	0.011	2
3	Grave (Amarillo)	106	0.018	2
	TOTAL	807		

Tabla IV.7

**Tabla de resultados de la Política 3 según Urgenciólogo**

<b>N</b>	<b>Urgenciólogo</b>	<b>Horario</b>	<b>Utilización Media</b>	<b>Número de Pacientes atendidos</b>
1	Servidor 1	7 am-2pm	0.293	94
2	Servidor 2	8 am-3pm	0.286	77
3	Servidor 3	9 am-4pm	0.275	104
4	Servidor 4	11 am-6pm	0.251	64
5	Servidor 5	11 am-6pm	0.224	82
6	Servidor 6	11 am-6pm	0.224	40
7	Servidor 7	11 am-6pm	0.200	60
8	Servidor 8	4pm-11pm	0.204	55
9	Servidor 9	4pm-11pm	0.177	51
10	Servidor 10	4pm-11pm	0.185	40
11	Servidor 11	4pm-11pm	0.151	35
12	Servidor 12	9 am-4pm	0.236	70
			TOTAL	772

Tabla IV.8

- Pacientes no atendidos Política 2: 807-772=35

#### IV.2. COMPARACIÓN DE CUADROS.

Comparando el Sistema actual con cada una de las tres políticas planteadas se obtiene lo siguiente:

**Tabla de Comparación de las Nuevas tres Políticas y el Sistema Actual según Prioridad**

	<b>Prioridad</b>	<b>Sistema Actual</b>	<b>Política 1</b>	<b>Política 2</b>	<b>Política 3</b>
<b>Número de Pacientes que llegan</b>	Vital (Rojo)	491	459	439	484
	Muy Grave (Naranja)	240	217	222	217
	Grave (Amarillo)	113	102	103	106
<b>Tiempo Medio de Espera</b>	Vital (Rojo)	0.005	0.002	0.003	0.003
	Muy Grave (Naranja)	0.007	0.010	0.008	0.011
	Grave (Amarillo)	0.023	0.017	0.015	0.018
<b>Tamaño Máximo de la cola</b>	Vital (Rojo)	2	1	1	1
	Muy Grave (Naranja)	2	2	2	2
	Grave (Amarillo)	3	3	3	2

Tabla IV.9

**Tabla de Comparación de las Nuevas tres Políticas y  
el Sistema Actual según Urgenciólogo**

<b>N</b>	<b>Urgenciólogo</b>	<b>Sistema Actual</b>	<b>Política 1</b>	<b>Política 2</b>	<b>Política 3</b>
1	Servidor 1	97	85	85	94
2	Servidor 2	78	86	86	77
3	Servidor 3	89	95	95	104
4	Servidor 4	74	68	69	64
5	Servidor 5	79	99	89	82
6	Servidor 6	69	59	56	40
7	Servidor 7	72	60	61	60
8	Servidor 8	75	60	63	55
9	Servidor 9	68	53	57	51
10	Servidor 10	62	48	44	40
11	Servidor 11	44	37	–	35
12	Servidor 12				70
	TOTALES	807	750	705	772
	Pacientes no atendidos	<b>37</b>	<b>28</b>	<b>59</b>	<b>35</b>

Tabla IV.10

#### **IV.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

De los cuadros anteriores, podemos observar lo siguiente:

- Los tiempos medios de espera de los pacientes con mayor prioridad (Vital) se reducen en las tres políticas planteadas, lo mismo sucede en los pacientes con menor prioridad (grave); sin embargo, ese no es el caso de los pacientes de prioridad media (Muy grave), en los cuales el tiempo medio de espera para las tres políticas es mayor.
- El tamaño máximo de la cola para las tres políticas planteadas se reduciría en comparación al sistema actual, siendo la de mayor prioridad (vital) reducida en los tres casos a 1 paciente.
- El número de pacientes no atendidos se reducen considerablemente con la política 1, con la política 3 también se observa una reducción, sin embargo con la política 2 la cantidad de pacientes no atendidos sufre un aumento considerable.
- De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda hacer uso de la política 2, en la cual se cambia el horario de los urgenciólogos a aquellos donde hay mayor afluencia de pacientes, ya que con ello los tiempos de espera son menores y sobre todo los de mayor urgencia o vitales son atendidos rápidamente, disminuyendo así de manera considerable los pacientes que son trasladados a otros hospitales.



## V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### V.1. CONCLUSIONES.

1. Como observamos en el sistema real, hay pacientes que son trasladados a otros hospitales porque el tiempo de espera supera su necesidad de urgencia, y si sigue funcionando de esta manera, la calidad de servicio del hospital se vería afectada; ante esta realidad se hace necesaria una herramienta como la Simulación de Sistemas, que permite manipular una representación del sistema actual, estudiarlo, sacar conclusiones y experimentar con un modelo nuevo, a efectos de mejorar el actual sistema.

2. De acuerdo a lo analizado y las políticas planteadas, el cambio de horario de tres de los urgenciólogos en las horas de mayor afluencia de pacientes, tal como se muestra en la Tabla VII.4, hace que los tiempos de espera sean menores, sobre todo en los pacientes de mayor urgencia o vitales; así también se reduce considerablemente la cantidad de pacientes derivados a otros hospitales.

3. Por otro lado, si se contrata un urgenciólogo, como se plantea en la política 3, el sistema no varía considerablemente, siendo un gasto adicional innecesario.

## **V.2. RECOMENDACIONES.**

1. De acuerdo a los resultados obtenidos, se recomienda hacer uso de la política 2, en la cual se reordena el horario de los urgenciólogos para que puedan atender a los pacientes de acuerdo a la prioridad, ya que con ello los tiempos de espera son menores y, sobre todo, los de mayor urgencia o vitales son atendidos rápidamente, disminuyendo así, de manera considerable, los pacientes que son trasladados a otros hospitales. Esto traerá como consecuencia una mejor atención a los pacientes del "Hospital de Emergencias Generales", cumpliendo así con su misión de Contribuir a mejorar la salud de la población, atendiéndola en situaciones de emergencia y urgencia en forma oportuna, con equidad, calidad y eficiencia.

2. Capacitar al departamento de triaje para tener un adecuado método de selección de prioridades de los pacientes, ya que actualmente son tres: Vital, muy grave y grave; podría implantarse cinco prioridades como se da en países como Canadá y Estados Unidos.

## **BIBLIOGRAFIA**

1. GARCIA, Eduardo; GARCIA, Herirberto; CARDENAS, Leopoldo. "Simulación y Análisis de Sistemas con Promodel". Pearson. México. 2006. Primera Edición.
2. HILLIER, Frederick S.; LIEBERMAN, Gerald J. "Introducción a la Investigación de Operaciones". Mc Graw Hill. México. 2006. Octava Edición.
3. MITAC, Máximo. "Tópicos de Inferencia Estadística". Editorial San Marcos. Peru.1994.
4. WINSTON, Wayne L."Investigación de Operaciones". Aplicaciones y Algoritmos. Thompson. México. 2005. Cuarta Edición.

## PAGINAS WEB

5. ALONSO, M.; ARCOS, P. GARCIA, F.J. "Aplicaciones de la Simulación en un Servicio de Urgencias Hospitalario" Revista Científica de la Sociedad Española de Medicina de Urgencias y Emergencias. Internet. 2001. Disponible en:

<http://www.semes.org/emergencias25/originales1.htm>

6. BERNAL, Juan J; MARTINEZ, Soledad; SANCHEZ, Juan F. "Simulación de Fenómenos de Espera con Prioridades mediante Hoja de Cálculo". Internet. Disponible en:

<http://www.asepelt.org/ficheros/File/Anales/2004%20-%20Leon/comunicaciones/Bernal%20Martinez%20y%20Sanchez%20bis.pdf>

7. MALDONADO, Jovana. "Simulación de Sistemas con AwSim". Internet. Disponible en:

<http://matematicas.unmsm.edu.pe/weboperativa/congreso/Assets/Docs/2310/IMaldonado/PresSim.ppt>.

8. QUINATNILLA, José. "Creación y Validación de una Escala de Triage en un Servicio de Urgencias Pediátricas". Internet. Disponible en:

<http://www.seup.org/seup/html/becas/pdf/IVBecaCasenFleet.pdf>

9. RINCON, Juana. "Concepto de Sistema y Teoría General de Sistemas". Internet. Disponible en:

<http://gepsea.tripod.com/sistema.htm>

